

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Модернизация виброэлектропитателя металлургического комбината

УДК 621.867.5-048.35:669.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Рахматов Бекзоджон Алишерович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И. Г.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

Ю. Н. Деметьев
(Ф. И. О.)

_____ (подпись) _____ (дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
З-5ГЗА1	Рахматову Бекзоджону Алишеровичу

Тема работы:

Модернизация виброэлектропитателя металлургического комбината	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация на виброэлектропитатель
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подробное изучение технологического процесса, выбор электродвигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода на модели нелинейного асинхронного электропривода с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.
Перечень графического материала	Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018 г
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И. Г.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Рахматов Бекзоджон Алишерович		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц, 37 рисунков, 13 таблиц.

Ключевые слова: ВИБРОЭЛЕКТРОПИТАТЕЛЬ, ЧАСТОТНО–РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА; СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ.

Объектом проектирования является частотно–регулируемый электропривод переменного тока.

Цель работы: Обеспечить регулирование скорости в пределах 200 – 1000 об/мин, обеспечить кратность перегрузки по моменту не менее 2, обеспечить плавность пуска и остановки.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода виброэлектропитателя.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD 15, пакет MATLAB R2017a- Simulink.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод виброэлектропитателя для подачи руды на металлургическом комбинате, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования $D = 1:5$.
3. Диапазон рабочих скоростей приводного двигателя от $n_{\min} = 200 \text{ об/мин}$ до $n_{\max} = 940 \text{ об/мин}$.
4. Электропривод должен обеспечивать кратность пускового момента $k_{\Pi} = 2$, кратность максимального момента $k_{\max} = 2,5$.
5. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
6. Управление электроприводом – ручное и автоматизированное, с пульта управления мельничного блока машинистом мельницы.
7. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, запыленности, вибрации, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP44.
8. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°C и относительной влажности не более 80%.
9. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
10. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	11
1.1 Описание предприятия.....	11
1.2 Технологический процесс цеха измельчения.....	12
1.3 Описание работы вибропитателя.....	18
1.4 Модернизация схемы управления вибропитателем.....	20
2 ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРО- ПРИВОДА ВИБРОЭЛЕКТРОПИТАТЕЛЯ.....	27
2.1 Классификация вибрационных машин	27
2.2 Типы вибровозбудителей	29
2.3 Назначение и классификация центробежных вибраторов	31
2.4 Выбор типа электропривода, обоснование ПЧ-АД	33
3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	35
3.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя	35
3.2 Расчет параметров схемы замещения АД.....	38
3.3 Расчет естественных статических характеристик асинхронного двигателя в MATHCADe.....	44
3.4 Расчет статических характеристики АД с учетом закона управления U/f.....	49
3.5 Определение механической характеристики нагрузки	59
4 МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK.....	61
4.1 Силовой канал электропривода с векторным управлением.....	61
4.1.1 Структурная схема силового канала электропривода.....	61
4.1.2 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода.....	62
4.1.3 Расчет статических характеристик системы «преобразователь – двигатель» при векторном управлении.....	63

4.1.4	Параметры настройки контура тока с ПИ – регулятором	64
4.1.5	Параметры настройки контура потокосцепления с ПИ – регулятором	66
4.1.6	Параметры настройки контура скорости с ПИ – регулятором	67
4.2	Разработка имитационной модели электропривода.....	68
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	79
	Введение.....	81
5.1	Производственная безопасность.....	82
5.1.1.	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	82
5.1.2.	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	86
5.2	Экологическая безопасность	89
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	90
6	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	92
6.1	Экономическая концепция проекта	93
6.2	Календарный план модернизации виброэлектропитателя.....	94
6.3	Бюджет проекта.....	96
6.4	Экономическая эффективность реализации проекта.....	98
7	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	102
	Список использованной литературы.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Одномерное движение точки, например движение вдоль прямой линии, называется колебательным, если ее скорость время от времени меняет свой знак. Колеблющаяся точка проходит каждое из положений (кроме крайних) на траектории своего движения попеременно то в одном, то в другом направлении. Колебания являются периодическими, если движение полностью повторяется через одинаковые промежутки времени. Такой промежуток называется периодом колебаний. Механическое колебательное движение в технике называют *вибрацией*.

К вибрационной технике относятся, во-первых, вибрационные машины, стенды, устройства, приборы, инструменты, в которых преднамеренно возбужденная вибрация выполняет полезные функции. Во-вторых, к вибрационной технике также относятся аппаратура и устройства для измерения и контроля вибрации и управления ею. В-третью очередь, к вибрационной технике можно отнести устройства для предотвращения, подавления, гашения, изоляции вредной вибрации [1].

В Навоийском горно-металлургическом комбинате, в гидрометаллургическом заводе №2 для подачи руды из бункера в реверсивный конвейер установлен вибропитатель ВЭП. Основной задачей которого является с помощью механических колебаний создать вибрацию механизма и равномерно высыпать руду в конвейер для дальнейшего измельчения в мельницах. Коммутацию этого вибропитателя производит машинист мельниц данного мельничного блока совместно с слесарями-ремонтниками, которые заранее устанавливает состояния дебалансных грузов в зависимости от производительности мельницы. Например: при приеме смены оператор пульта управления цеха в целях улучшения показателей технологического процесса увеличивает задания мельничного блока на 15 т/ч больше чем предыдущая смена. После этого машинист мельниц и слесаря ремонтники должны будут увеличивать вибрацию

вибропитателя изменяя состояние дебалансных грузов. Таким образом регулируют производительность вибропитателя.

В технологическом процессе цеха измельчения гидрометаллургического завода очень важную роль играет налаженный вибропитатель, так как от этого зависит дальнейший цикл измельчения, обогащения и обработка руды. Если не производить наладку вибропитателя и включить его в работу, то оно может привести к многим технологическим авариям, одна из них «перегруз мельницы», когда в мельницу высыпают руду больше чем достаточно. А она в свою очередь приводит к увеличению тока статора привода мельницы (а это недопустимо, так как увеличения тока выше номинала приводит к уменьшению срока службы, но и в худшем случае сгоранию СД), к увеличению расхода технической воды, а также технологическому простоя оборудования. Соответственно технологический простой оборудования приводит к невыполнению месячного и годового плана по переработки руды и выпуску продукции, а это хорошенько отразится в заработной плате всех работников металлургического комбината.

К достоинствам данного вибропитателя относятся простота обслуживания, не сложная конструкция и не громоздкая схема управления приводом вибропитателя. К недостаткам можно отнести управления производительностью вибропитателя, вибрация регулируется только от состояния дебалансных грузов. То есть для изменения силу вибрации приходится останавливать вибропитатель, снять верхние и нижние крышки двигателя привода вибропитателя и отрегулировать дебалансные грузы на валу двигателя. А это дополнительная трата рабочего времени и силу обслуживающего персонала, так же нежелательный простой оборудования.

В данной работе будет рассмотрено модернизация вибропитателя, улучшения его схемы управления. Для того чтобы вибрацию можно было регулировать и в процессе работы не останавливая вибропитатель, в схему управления приводом добавляем преобразователь частоты для регулирования скорости вращения

двигателя. Устанавливая частотный преобразователь можно добиться плавного разгону и торможению двигателя, регулировать скорость вращения при работе, снизить пусковые токи двигателя и соответственно увеличить сроки службы двигателя, грамотно выбрать закон регулирования. А также при работе не на полных скоростях вращения и при не полном использовании мощности двигателя происходит экономия электроэнергии. Т. к. 28 мельничных блоков в цехе, использования преобразователей частоты в схеме управления вибропитателями приводит к большому экономии электроэнергии. При такой модернизации вибропитателя уменьшается время простоя на наладочные работы и рационально используется время и сила обслуживающего персонала.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Описание предприятия

Гидрометаллургический завод, входящий в состав «Навоийский ГМК», располагается в Навоийской области, в пределах промышленной зоны города Зарафшан. 21 июля 1969 года на гидрометаллургическом заводе был выплавлен первый слиток золота Мурунтау. Эта знаменательная дата стала также и днем рождения завода, и временем подведения итогов, оценки правильности принятых решений, и пользы от свершённых дел [2].

Сегодня ГМЗ – это крупнейший в мире золотоизвлекательный комплекс с законченным циклом, обеспечивающий высокоэффективное производство на уровне мировых стандартов, гордость Навоийского горно-металлургического комбината.

После обретения независимости Гидрометаллургический завод получил новый импульс к развитию, появилась свобода в реализации творческого потенциала, на первое место вышли принципы рациональности и эффективности, подкреплённые личной ответственностью каждого за порученное дело. Вырос объём переработки руды и выпуска золота.

Оценкой высокого качества и престижа золота Узбекистана служит множество призов и наград, полученных НГМК от международных организаций.

В 1994 г. золоту ГМЗ арбитражной лабораторией Лондонской биржи металлов присвоен статус «Оптимальной поставки», в 1997 г. присужден сертификат качества Токийской биржи промышленных товаров. Это значит, что товарный знак Узбекистана на золотых слитках получил признание во всем мире как отражающий наивысшее качество продукции [2].



Рис.1. Гидрометаллургический завод, НГМК, Узбекистан

Гидрометаллургический завод Навоийского металлургического комбината состоит из нескольких цехов и участков, которые выполняют важную роль при выпуске основной продукции:

- Цех №1. Цех дробления.
- Цех №2. Цех измельчения.
- Цех №3. Цех сорбции и регенерации.
- Цех №4. Цех сгущения.
- Цех №6. Цех готовой продукции.

1.2 Технологический процесс цеха измельчения

Назначения цеха - доведения крупности руды до 80% класса (-0.074мм) (микрон), когда достаточно полно раскрывается золото. На ГМЗ-2 применяется 2-х стадийное измельчение в открытом цикле.

Измельчение - процесс измельчения уменьшения крупности руды за счёт кинетической энергии падающих шаров и кусков руды, их соударение раздавливания и истирания.

Существует два режима измельчения каскадный и водопадный, это зависит от скорости вращения мельницы.

При каскадном режиме шары не поднимаются до верхней точки

барабана мельницы и перекачиваются друг по другу.

При водопадном режиме часть шаров поднимаются и забрасываются на противоположную сторону барабана.

Объем заполнения руды 7000т, полностью мельница 9000т.

При увеличении скорости вращения барабана каскадный режим сменяется на водопадный существует понятие критической скорости, при котором шары как бы прилипают к стенке барабана и вращаются вместе с ними.

70% от критической скорости - каскадный.

80% - водопадный.

Первая стадия измельчения осуществляется в мельницах мокрого самоизмельчения (ММС) ММС 70х23. Для увеличения производительности в мельницу добавляют шары. Шаров примерно 20%. Создавая режим полного самоизмельчения. Оптимальная шаровая загрузка ММС 70х23 (70т); ММС 90х23 (90-110).



Рис.2. Цех измельчения ГМЗ-2

Вторая стадия измельчения установлены мельницы шаровые с центральной разгрузкой. Загрузка мельниц ММС $d = 100\text{мм}$; МШЦ $d = 60\text{мм}$ (используют стержни). В качестве классифицирующего оборудования применяются спиральные классификаторы с

погруженной спиралью 2КСП-24 и гидроциклон ГЦ-380.

Назначение классификаторных аппаратов разделение мелких и крупных зёрен измельчённой руды под действием сил тяжести у тяжёлых скорость опускания в воде больше. Мелкие частицы потоком воды выносятся в слив крупные частицы оседают и транспортируются спиралями в мельницу на доизмельчение.

Производительность мельниц ММС разделение по крупности частиц происходит за счёт центробежных сил. Дробленая руда из бункера вибропитателями ВЭП поступает на реверсивный и далее на весовой конвейер. С весового конвейера руда поступает в загруженную тележку и далее в ММС. В мельницу так же поступает вода.

Пульпа из мельницы ММС поступает в зумпф от туда насосами 8гр8 откачивается на отсадочную машину ОМР-1 А. Хвосты отсадочной машины поступают на классификатор. Концентрат отсадочных машин (нижний продукт) перемещается на концентрационный стол СКМ-1А. Хвосты СКМ самотёком поступают обратно в зумпф ММС, а концентрат на дальнейшую переочистку в закрытые отделения гравитации. Хвосты отсадочных машин разделяются классификаторами, мелкие зёрна руды поступают в слив классификатора и дальше на сгущение. Крупные зёрна руды транспортируются в мельницу МШЦ для доизмельчения. Слив мельницы поступает в зумпф от, куда насосами откачивается на гидроциклонную установку, состоящую из 4х ГЦ-380. После ГЦ поступает самотёком в зумпф ММС верхний слив ГЦ на дальнейшее сгущение. Хвосты СКМ поступают в зумпф и хвосты отсадочных машин на классификацию КСП. ММС назначение - измельчение дробленой руды до крупности 20 мм предварительное вскрытие золота.

1.2.1. Гравитационное обогащение

Принцип работы: ГО основано на разнице скорости падения рудных зёрен в водной среде в зависимости от их крупности и плотности. Более тяжёлые и более крупные частицы имеют большую скорость падения. Отсадочная машина ОМР-1 А (отсадочная машина рудная) извлечение крупного золота из пульпы ОМР-1 А состоит: из 3-х камер каждая из которых разделена на две секции. На поверхности одной из секций установлено решето (кассета с сеткой 5x2мм) пульпа падает на поверхность решетки и из крупных зёрен руды создаётся естественная постель $p=10-15\text{см}$. Камера имеет боковую подачу воды. Количество воды регулируется так, чтобы часть её выходила через постель на решете. В соседнюю секцию попадает сжатый воздух через пульсатор. Пульсации воздуха передаются на поверхность воды и по принципу сообщающихся сосудов на постель решета. Таким образом, при движении воды вверх постели разрыхляется, и тяжёлые зёрна успевают провалиться вниз. При движении воды вниз постель уплотняется при этом ничего не происходит т.о. тяжёлые частицы продвигаются вниз рудной постели и проваливаются через ячейки сетки и далее через разгрузочное устройство поступает на концентрационный стол. На поверхности концентрационного стола набиты деревянные рейки.

Привод стола эксцентрированного типа придаёт ему возвратно поступательное движение, при этом тяжёлые частицы задерживаются в пространстве между рейками. Лёгкие смываются потоком пульпы в хвостовую течку. Тяжёлые частицы между рейками продвигаются вдоль ствола. Внизу стола расположена пружина, которая позволяет резко вернуть ствол в первоначальное положение поверхность стола называется дека. Дека совершает движение вперёд за счёт эксцентрика и резкое движение назад. За счёт сил трения золотины движутся к

концентрационной течке. На деке стола образуется веер продуктов. С помощью подачи воды на деку стола регулируется количество и качество концентрата.

1.2.2. Спиральный классификатор

Число спиралей 2шт; диаметр спиралей 2400мм; длина корыта 14000мм; ширина корыта 5030мм; частота вращения 2 об/мин; мощность двигателя 30 кВт; угол наклона корыта 15°.

Принцип работы основан на разнице скорости падения тяжёлых частиц по сравнению с лёгкими или тяжёлыми частицами в восходящих потоках воды. Количество воды регулируется. Классификатор имеет боковую подачу питания. Мелкие частицы устремляются в слив, крупные частицы осаждаются на дно и транспортируются спиралями вверх. Песковой течкой оттуда по желобу поступает в МШЦ.



Рис.3. Спиральный классификатор КСП-24 цеха измельчения

1.2.3. Отсадочная машина рудная ОМР-1А

Производительность 75 т/м в час; ширина камеры 2м; длина камеры 1м; число камер 3 шт; площадь постели 6м²; мощность

двигателя 2,2 кВт; рабочее давление воздуха 0,2-0,6 Атм; частота пульсации 160-220 мин-1.

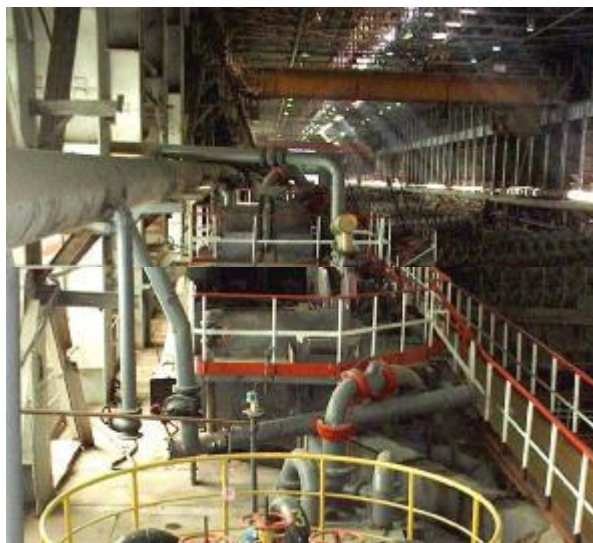


Рис.4. Расположение отсадочных машин рудная ОМР-1А в цехе

1.2.4. Гидроциклон (ГЦ)

(давление 5 атмосфер) диаметр цилиндра частоты 380мм; диаметр сливного патрубка 140мм; угол конусности 20°; диаметр песковой насадки 70-90мм.

Разделение крупных и мелких частиц в ГЦ происходит за счёт центробежной силы. Пульпа подаётся в цилиндрическую часть через питающие отверстия. Крупные частицы отбрасываются к поверхности корпуса ГЦ и по конической части устремляются вниз спиралеобразным потоком, разгружаясь через насадку. В центре ГЦ образуется вакуумный стол вода и мелкие частицы засасываются в верхний слив ГЦ. Крупность разделения частиц зависит от давления на входе в ГЦ и от количества воды подаваемого в ГЦ.

1.2.5. Отделение регенерации

Насыщенная смола из отделения сорбции отделяется от песка восходящим потоком воды, затем на барабанном грохоте отмывается от илов. Отмытая смола самотёком поступает на цианистую обработку, где смола десорбируется. Далее смола подаётся на обмывку от цианида горячей водой, отмытый от цианистых растворов

смола поступает на сернокислотную обработку с целью десорбции цинка, никеля, кобальта и перевода смолы СО форму подаётся для насыщения киомочивины смолы после сорбции киомочивины аэролифтами подаётся на диссорбцию золота. Дисорбцируют сернокислотный раствор киомочивины движется по колонкам на встречу смоле. Товарный регенерат через смолоотделитель и смололовушку поступает в ёмкость, откуда аэролифтами подаётся в цех ГП. Смола поступает на отмывку от киомочивины серной кислоты, далее на щелочную обработку с целью десорбции сульфата в сере цинка. После отмывки от щёлочи отрегенированная смола подаётся аэролифтами на сорбцию.

1.3 Описание работы вибропитателя

На металлургическом комбинате в цехе измельчения дробленая руда поступает через катучий конвейер в бункеры вместимостью 600 тонн. На мельничных блоках в зависимости от загрузки мельницы установлен 3-4 бункера, и под каждым бункером стоит вибропитатель ВЭП. Машинист катучего конвейера заполняет бункер дробленой рудой. Уровень руды в бункерах отображается на дисплее компьютера управления данным мельничным блоком. Машинист мельниц включает вибропитатель для подачи руды в реверсивный конвейер, через которого руда поступает на мельницу. Производительность вибропитателя, то есть сколько тонн руды за час высыпает этот питатель, зависит от уровня вибрации и угла наклона лотка вибропитателя. Чем больше вибрация и угол наклона лотка тем больше производительность. Делая угол наклона больше можно достичь большой производительности при малых вибрациях, но существует неблагоприятный процесс так называемый «самотёк» вибропитателя. Это такой процесс когда в бункере относительно мелкая дробленая

руда при отключенном питателе продолжает высыпаться на конвейер. Его можно устранить способом вывешивания различных грузов сверху лотка, чтобы эти грузы предотвратили «самотёк». Но это требует постоянного контроля за вибрацией и регулировку дебалансных грузов вибромотора. Следовательно дополнительную работу бригаде по обслуживанию виброэлектропитателей.

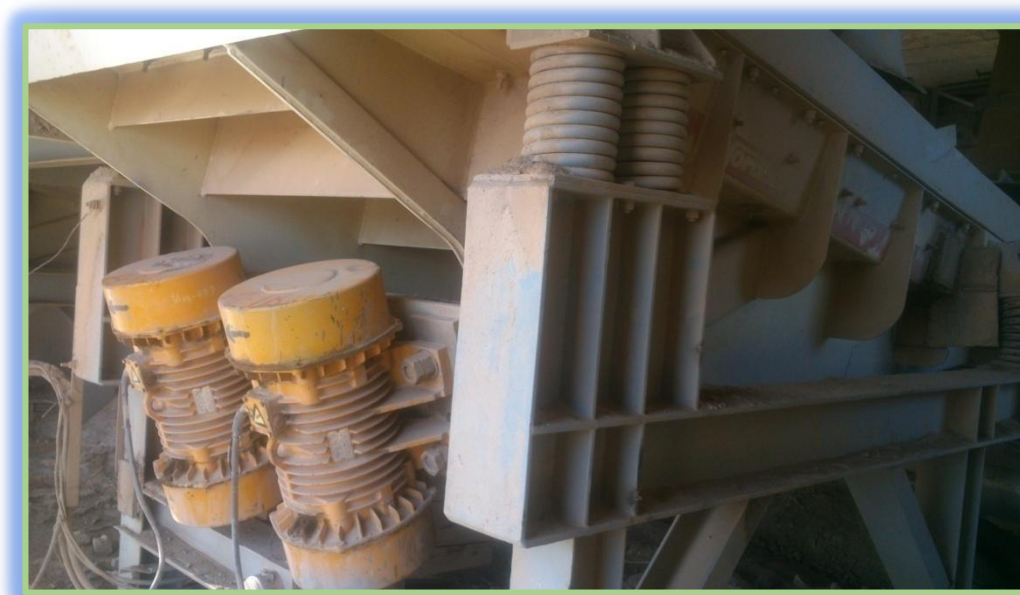


Рис.5. Виброэлектропитатель цеха измельчения

Вибрация в вибропитателе создается с помощью 2-х вибромоторов. Когда на вибромотор подают переменное напряжение трехфазной сети 380 В, вал двигателя начинает вращаться и набирать обороты. На вал установлены по 2 дебалансных грузов, полу окружной формы. При вращении эти дебалансные грузы создают колебания двигателя. Так как вибромотор прикреплен непосредственно на раму лотка, вибрация создаваемое вибромотором передается на лоток.



Рис. 6. Вибропитатели серийного производства.

1.4 Модернизация схемы управления вибропитателем

Установленный вибропитатель в цехе измельчения гидromеталлургического завода имеет регулировку производительности в основном по механической части. То есть для изменения производительности нужно изменить угол наклона лотка и вывешивать с верху различные грузы, либо изменить силу вибрации путем изменение состояние дебалансных грузов. На данный момент все эти работы делаются в ручную ремонтными и технологическим персоналами при отключенном вибропитателе. А это занимает лишнее время на наладочные работы когда нужно будет изменить производительность вибропитателя, а также дополнительно привлечет к работе ремонтных персоналов. В целях улучшения работы вибропитателя и создание регулируемого привода вибропитателя в данной ВКР будет рассмотрено его модернизация.

Модернизацию схемы управления вибропитателем будем рассматривать в примере автоматизированного мельничного блока №2. Схема пуска вибропитателя показан на рис. 7. По этой схеме включается в

работу вибропитатель с постоянной скоростью вращения приводного двигателя.

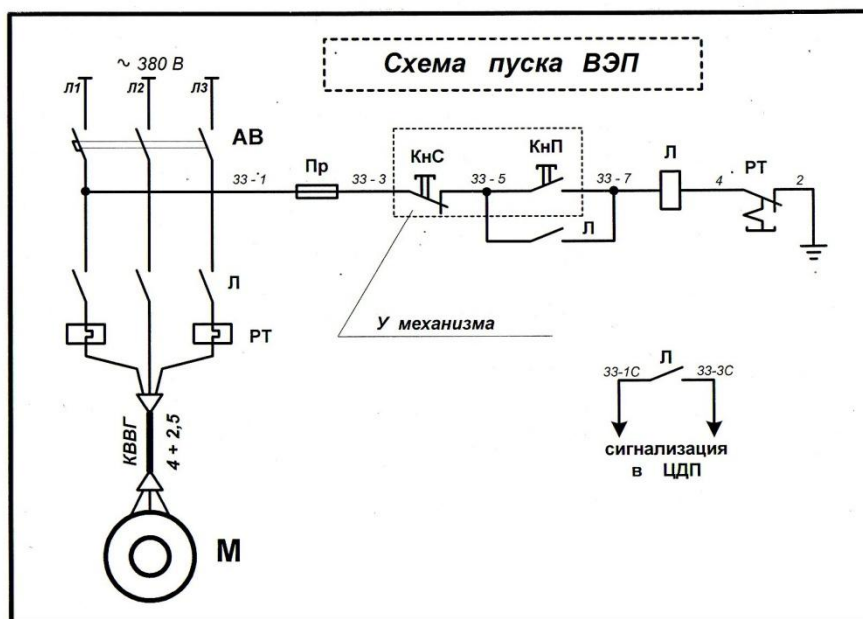


Рис. 7. Электрическая принципиальная схема пуска вибропитателя. Привод не регулируемый.

Для того чтобы вибрацию можно было регулировать изменяя скорость вращения двигателя и в процессе работы не останавливая вибропитатель, в схему управления приводом устанавливается преобразователь частоты. Устанавливая частотный преобразователь можно грамотно выбрать закон регулирования, векторное или скалярное, добиться плавного разгона и торможения двигателя, снизить пусковые токи двигателя. Эти качества увеличивают сроки службы двигателя, уменьшает время на ремонтные работы. А самое основное добавляя преобразователь частоты и задействовав в цепь его управления разные датчики и расходомеры из технологической схемы автоматизации можно контролировать работу вибропитателя чтобы его производительность зависело от каких либо параметров производственного цикла.

Для контроля заполнения барабана мельницы рудой при работе установлен шумомер мельницы. Этот датчик в зависимости от шума

барабана определяет на сколько заполнена мельница. Принцип его работы таков: чем больше рудой заполнен барабан, при вращении мельницы оно меньше шума издает. И наоборот, чем меньше руды в барабане измельчающие шары об барабан стучатся сильнее, соответственно больше шума. На выходе этого датчика аналоговые сигналы, которые будут задействованы в цепь микроконтроллера управления мельничным блоком и в схему управления частотным преобразователем.

Стабилизация подачи руды в мельницу в зависимости от коэффициента заполнения ММС-2 согласно таблице 1.:

Таблица 1.

Шумомер, %	Задание подачи руды, т/ч		
	Задание шума 36%	Задание шума 37%	Задание шума 38%
<35	160	165	170
35÷36,5	155	160	165
36,5÷37,5	150	155	160
37,5÷38	145	150	155
38÷39	140	145	150
39÷40	135	140	145
>40	50	55	60
	(выработка мельницы)	(выработка мельницы)	(выработка мельницы)

Предотвращение глубоких перегрузов мельницы ММС-2 по шуму путём своевременного снижения переработки руды. При достижении значения шумомера 39% мельница автоматически переходит в режим выработки, снижая подачу руды до 55 т/ч. Существует дополнительная защита от перегруза мельницы, которая при снижении мощности электропривода мельницы ниже 1,6 МВт снижает подачу руды до нуля.

Задание по подаче руды в мельницу ММС-2 выполняет регулятор

руды, который выдаёт значение тока на схему управления вибропитателей. Этот ток меняется 1 раз в 55 секунд пропорционально от рассогласования сигнала расхода руды и задания расхода руды. После перевода ключа выбора режима подачи руды с ручного в автоматический или при переключении вибропитателей начальное значение тока принимает постоянную величину 1,8 мА.

Для наглядного представления в рис. 8. предлагается технологическая схема мельничного блока.

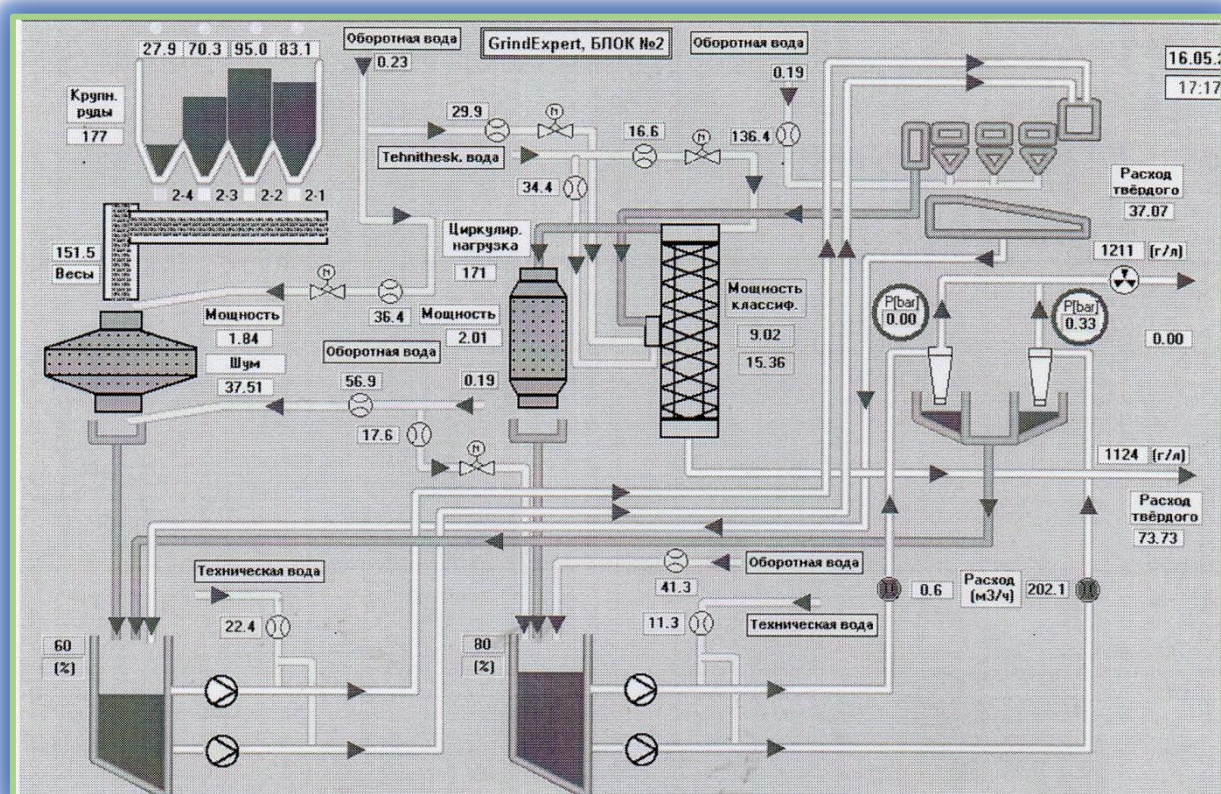


Рис.8. Технологическая схема блока измельчения.

В технологическом процессе мощность классификатора спирали 24-КСП тоже имеет важную роль. Его мощность контролируют преобразователем тока который установлен в цепь электродвигателя классификатора. По его мощностью можно ориентироваться на плотность классификатора, то есть на соотношения Т:Ж. На понижение задания подачи руды влияет значение мощности

электропривода спирали классификатора (циркулирующая нагрузка) следующим образом:

Таблица 2.

Мощность спирали, кВт	Понижение подачи руды,
24÷26	5
>26	10

Стабилизация соотношения Т:Ж в ММС-2 в зависимости от плотности слива классификатора в пределах 1:0,22-0,24 согласно таблице 3

Таблица 3.

Плотность КСП, г/л	Т:Ж
<1130	0,24
1130÷1135	0,23
> 1135	0,22

В зависимости от расхода руды регулятор подачи воды в ММС-2 и Т:Ж вычисляет необходимый расход воды и через регулирующий вентиль РВ2 регулирует расход оборотной воды. Пример: при расходе руды 160 т/ч и Т:Ж 1:0,22 расход воды выдерживается на уровне $35,2 \pm 0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$. При повышении сигнала шума выше 38% задание Т:Ж повышается на 0,01.

Подача технической воды в песковую точку классификатора осуществляется в зависимости от количества твёрдого, поступающего в МШЦ-44. Для этого используется сигнал мощности электропривода спирали классификатора со стороны- кармана согласно следующей функции:

Таблица 4.

Мощность спирали, кВт	Подача воды, $\text{м}^3/\text{ч}$
< 15	15
15-20	15-25
20-25	25-30
25-30	30-35

Переключение вибропитателей может производиться оператором мельничного блока в ручном режиме и в автоматическом режиме с управляющего компьютера. Уровень в бункерах показывается на экране компьютера в компьютерном шкафу и на экране компьютера блока в шкафу КИПиА. При работе в ручном режиме рекомендуется переключать на другой вибропитатель при достижении уровня руды в бункере, находящемся в работе, в диапазоне между 2+5%.

В автоматическом и ручном режиме может работать только один из четырёх ВЭП.

Готовность ВЭП к работе в автоматическом режиме разрешена когда:

- Уровень руды в бункере ВЭП-а, который находится в работе не ниже 10%.
- В работе в ручном режиме находится один ВЭП.
- Один из трёх ВЭП-ов, которые не работают, находится в готовности, уровень выше 30% и включен автомат силовых цепей данного ВЭП.

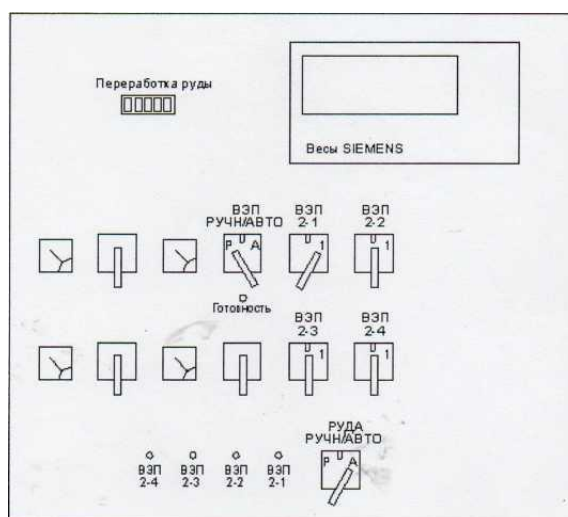


Рис.9. Панель для оператора на мельничном блоке

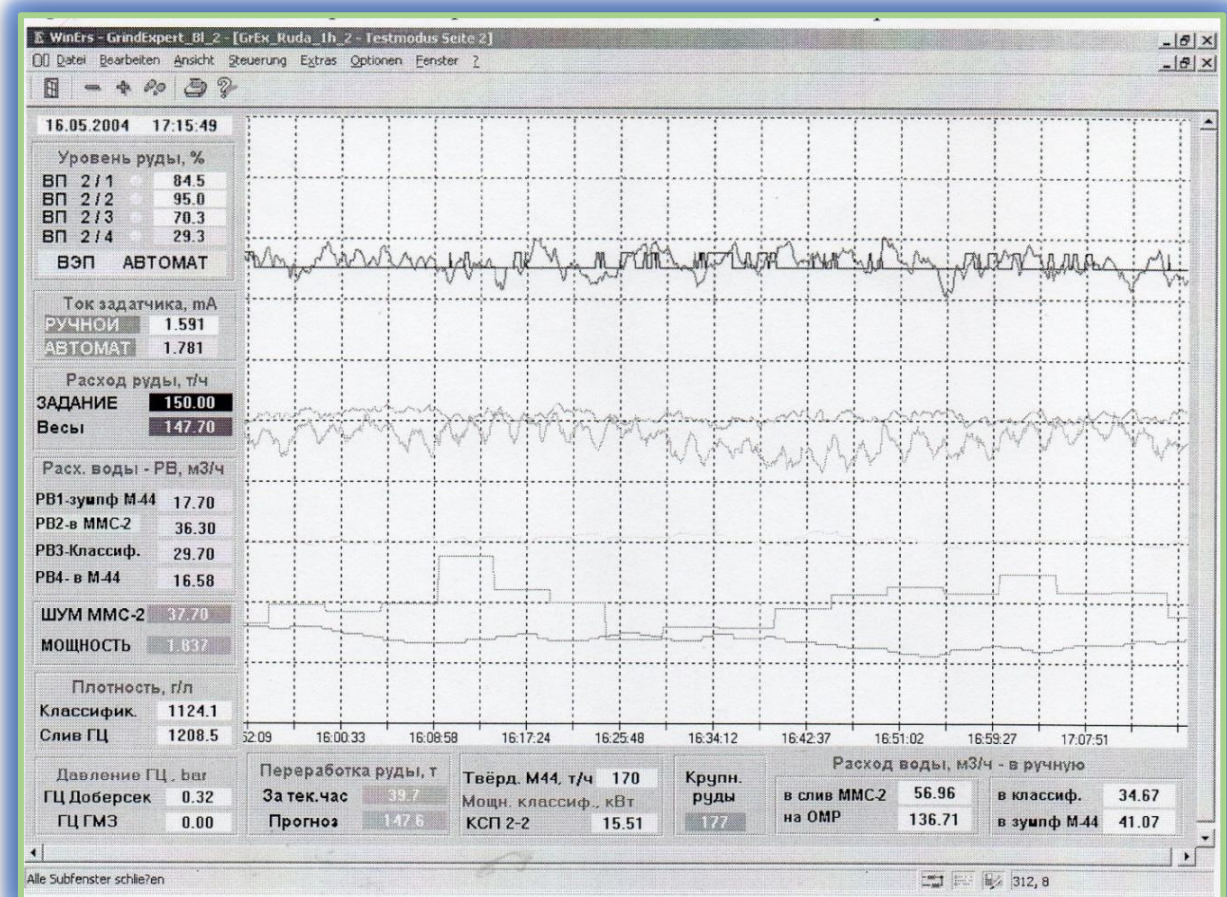


Рис.10. Основные сигналы работы блока которое отображается на компьютере оператора.

После модернизации и наладочных работ электродвигатели привода вибропитателя будут вращаться в автоматическом режиме работы мельничного блока в зависимости от сигналов шумомера, мегаваттметра и от сигнала о плотности КСП. А также в ручном режиме работы мельничного блока в зависимости от задания машиниста мельницы. Работа не на полных скоростях вращения и не полное использования мощности двигателей вибропитателя приводит к большому экономии электроэнергии, соответственно к снижению себестоимости выпускаемой продукции, к которому весь мир стремиться.

2 ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВИБРОЭЛЕКТРОПИТАТЕЛЯ

2.1 Классификация вибрационных машин

Вибрационные машины характеризуется тем, что их рабочему органу сообщается колебательное движение, целесообразное или нужное для воплощения такого процесса, который машины обязаны делать. Вибрационные машины различают по последующим характеристикам.

1. Назначение. Данное определение может выполняться по основному признаку технологического процесса, к примеру, вибромашины уплотняющие, разрыхляющие, смешивающие, сепарирующие, транспортирующие и т. д. Допустимо наиболее узкое деление, к примеру вибромашины для формования железобетонных изделий, вибропитатели для подачи насыпных материалов, виброгрохоты для деления кусковых материалов по крупности и т. д.

2. Тип привода: гидравлика, пневматика, электрические, ДВС.

3. Типы по преобразованию энергию подводимой в энергию механических колебаний рабочего органа: поршневой, кулачковый, центробежный, кривошипно-шатунный, электромагнитный, электродинамический, пульсационный, возбуждаемый кинематически, автоколебательный и т. д.

4. Число колеблющихся твердых тел: с одним (одномассный), с двумя (двухмассный), с тремя (трехмассный) и т. д.

5. Форма колебаний рабочего органа: с эллиптическим колебанием, с винтовым колебанием, с прямолинейно направленным колебанием, с различным комбинированным колебанием и т. д.

6. Периодичность колебаний: с модулированным колебанием, с простым периодическим колебанием, с почти периодическим колебанием, с непериодическим (хаотическим, случайным) колебанием.

7. Спектральный состав периодических колебаний рабочего органа: с бигармоническим колебанием, с синусоидальным колебанием, с полигармоническим колебанием.

8. Наличие ударов: вибрационный безударный, ударно-вибрационный.

9. Соотношение вынуждающих и собственных частот: дорезонансные, зарезонансные, резонансные, околорезонансные, межрезонансные.

10. Количество вибровозбудителей: с одним вибровозбудителем, с двумя и т. д.

11. Способ синхронизации работы вибровозбудителей: с механической синхронизацией, с электрической синхронизацией, с самосинхронизацией, без синхронизации.

12. Диапазон частот: высокочастотный, среднечастотный, низкочастотный. Эти понятия условны и зависят от вида технологического процесса и типа вибромашины.

13. Метод регулирования: нерегулируемый, ручное регулирование, механическое регулирование, автоматическое регулирование, управление с помощью программ, и самонастройка на оптимальный режим.

14. Степень определенности кинематических параметров рабочего органа: с полностью принудительным движением рабочего органа, с частично принудительным движением рабочего органа, без принуждающих жестких связей рабочего органа [4].

2.2 Типы вибровозбудителей

Известно много типов и разновидностей возбудителей механических колебаний. Здесь мы рассмотрим следующие четыре группы:

1. Электромеханические преобразователи, в которых подводимая

электрическая энергия преобразуется в энергию механических колебаний.

2. Пневмо- и гидромеханические преобразователи, в которых энергия газообразного или жидкого рабочего тела преобразуется в энергию механических колебаний.

3. Механические преобразователи вращательного движения в колебательное.

4. Инерционные вибровозбудители.

К числу электромеханических преобразователей относятся: электромагнитные, электродинамические, электростатические, магнитострикционные (включая пьезомагнитные) и электрострикционные (включая пьезоэлектрические). Из них электромагнитные преобразователи нашли значительное применение в вибрационных машинах производственного назначения. Электродинамические преобразователи используются в испытательных и калибровочных вибрационных стендах [5].

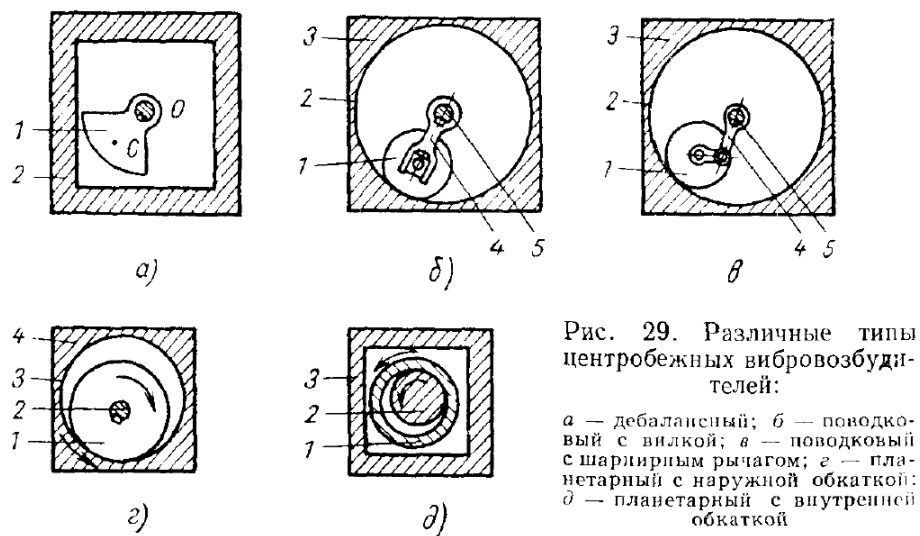


Рис. 11. Разные типы центробежных вибровозбудителей

Магнитострикционные и электрострикционные преобразователи и реже электростатические преимущественно находят применение в ультразвуковой технике, а электрострикционные — также и в радиоэлектронике.

К числу механических преобразователей вращательного движения в колебательное можно отнести кривошипно-шатунные, эксцентрикковые, кулачковые и иные механизмы.

Инерционные вибровозбудители можно подразделить на две группы: центробежные, которые развивают инерционные силы за счет вращения неуравновешенных массивных элементов, и иные инерционные возбудители колебаний, у которых инерционные силы развиваются от невращательного движения неуравновешенных массивных элементов [4].

В данной работе будет рассмотрено только центробежные вибровозбудители, которые получили преимущественное распространение. Их, в свою очередь, можно подразделить на дебалансные, поводковые и планетарные (имеются в виду бесповодковые).

Дебалансный вибровозбудитель рис. 11, *а* представляет собой неуравновешенный ротор 1, называемый дебалансом, вал О которого вращается в подшипниках, закрепленных в корпусе 2. Центробежная сила от вращения дебаланса воспринимается корпусом через подшипники. Крутящий момент валу дебаланса сообщается двигателем, находящимся вне корпуса или встроенным в него.

Дебаланс может представлять собой ротор, неуравновешенный или статически, или динамически, или же и статически и динамически. В центрированной системе в первом случае возникнут поступательные колебания, во втором случае — поворотные, в третьем случае, в частности, — винтовые. Статический момент массы дебаланса $m_n z$ является произведением массы ротора m_0 на эксцентриситет z относительно оси вращения. В случае чисто динамической неуравновешенности $m_0 z = 0$ [1].

2.3 Назначение и классификация центробежных вибраторов

Вибраторами общего назначения принято называть большую группу дебалансных вибраторов, в которых в качестве привода

применяются встроенные в их корпуса асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока с короткозамкнутыми роторами. Иногда эту группу вибраторов называют также мотор- вибраторами.

Вибраторы общего назначения широко применяются в качестве вибропривода механизмов, служащих для уплотнения бетонных смесей при изготовлении бетонных и железобетонных изделий, сооружении дорожных и аэродромных покрытий; устанавливаются на бункерах, воронках и т. п. устройствах с целью улучшения выгрузки материалов из них, устанавливаются на вибропитателях различных типов, а также используются во многих отраслях народного хозяйства для интенсификации различных технологических процессов, облегчения условий труда и повышения его производительности [5].

Вибрационные механизмы, снабженные в качестве вибропривода вибраторами общего назначения, успешно применяются для уплотнения и транспортирования различных материалов, так как при вибрационном воздействии на материал, его частицы приходят в движение и непрерывно сталкиваются друг с другом. Это приводит к уменьшению трения между частицами и той плоскостью, на которой они лежат. При вибрационном возбуждении сыпучий материал ведет себя подобно жидкости, причем плотно слежавшиеся частицы разрыхляются, отделяются друг от друга и продвигаются вперед, освобождая место для других частиц. Таким образом, материал все более разрыхляется. Разрыхленный материал хорошо перемещается — создается равномерный поток транспортируемого материала. Если же материал не находит выхода, то частицы материала вибрируют на месте, малые частицы заполняют поры между крупными и происходит уплотнение материала.

При этом не требуется ни сильных ударов, ни большого давления, причем отдельные зерна материала не раздавливаются, что является

весьма важным свойством вибрационного воздействия на некоторые материалы. Поэтому установка вибраторов на различных механизмах позволяет существенно улучшить и ускорить многие технологические процессы.

Вибраторы общего назначения в отличие от большинства других вибрационных машин и механизмов, имеющих специфическое назначение и изготавливаемых для выполнения заранее заданного технологического процесса или для установки на определенном механизме, изготавливаются как продукция широкого применения, используемая потребителем по своему усмотрению. Эти вибраторы являются наиболее распространенной группой вибрационных машин и выпускаются в больших количествах во всех промышленно развитых странах.

В зависимости от числа оборотов встроенного электродвигателя вибраторы общего назначения принято разделять по частоте возбуждаемых ими колебаний на вибраторы:

- 1) нормальной частоты, в которых установлены асинхронные электродвигатели с синхронным числом оборотов вала ротора 3000 в минуту;
- 2) высокой и низкой частоты, в которых установлены электродвигатели с синхронным числом оборотов соответственно больше или меньше 3000 в минуту.

По направлению линии действия центробежной силы, возбуждаемой в вибраторах общего назначения, они разделяются на:

- а) вибраторы с круговыми колебаниями;
- б) вибраторы с направленными колебаниями.

На базе таких вибраторов производятся также их специальные модификации, такие как вибраторы сдвоенные, с синхронизирующим валом и поверхностные.

Основным изготовителем дебалансных вибраторов общего на-

значения со встроенными электродвигателями в России является ярославский завод «Красный Маяк» [5].

2.4 Выбор типа электропривода, обоснование ПЧ-АД

Современный электропривод переменного тока включает в себя приводной преобразователь частоты со звеном постоянного тока и инвертором с широтно-импульсной модуляцией. В настоящее время наиболее широко применяются преобразователи с автономными инверторами напряжения. Поскольку в качестве источника питания используется 3-х фазная сеть переменного тока, то в состав преобразователя частоты входит 3-х фазный управляемый или неуправляемый выпрямитель. В преобразователь встроена система управления электропривода с микропроцессорным управлением и внешним интерфейсом, обеспечивающим пользователю широкие возможности практического применения.

В данной системе применяется закон регулирования U/f – регулирования при различных соотношениях частоты.

Целью данной ВКР является разработка и исследование скалярного асинхронного электропривода производственного механизма – виброэлектропитателя для подачи руды на металлургическом комбинате, отвечающего требованиям технического задания.

В данной работе будет рассмотрено модернизация вибропитателя, улучшения его схемы управления. Для того чтобы вибрацию можно было регулировать и в процессе работы не останавливая вибропитатель, в схему управления приводом добавляем преобразователь частоты для регулирования скорости вращения двигателя. Устанавливая частотный преобразователь можно добиться плавного разгона и торможения двигателя, регулирование скорости вращения при работе, снизить пусковые токи двигателя и соответственно увеличить сроки службы двигателя, грамотно выбрать

закон регулирования. А также при работе не на полных скоростях вращения и при не полном использовании мощности двигателя происходит экономия электроэнергии. Т. к. 28 мельничных блоков в цехе, использования преобразователей частоты в схеме управления вибропитателями приводит к большому экономии электроэнергии. При такой модернизации вибропитателя уменьшается время простоя на наладочные работы и рационально используется время и сила обслуживающего персонала.

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя

Эффективность работы вибропитателей и вибрационных конвейеров определяется коэффициентом режима работы:

$$K_p = \frac{A \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{g \cdot \cos \beta} \quad (3.1)$$

где A — амплитуда колебаний, мм; α — угол вибраций, т.е. угол между направлением возмущающей силы F и плоскостью грузонесущего органа, градус; β — угол наклона грузонесущего органа, градус; $\omega = \pi n / 30$ — круговая частота возбудителя колебаний, с^{-1} ; n — число колебаний в минуту; g — ускорение свободного падения, м/с^2 [6].

Для вибропитателей с инерционным приводом направленного действия, работающих под навалом руды, $\alpha = 30 \div 40^\circ$, $\beta = 7 \div 12^\circ$, $n = 1200 \div 1500 \text{ мин}^{-1}$, $A = 3 \div 5 \text{ мм}$, $K_p = 1,5 \div 3$, а для виброконвейеров с эксцентриковым приводом $\beta = 3 \div 4^\circ$, $n = 800 \div 850 \text{ мин}^{-1}$, $A = 3 \div 4 \text{ мм}$, $K_p = 1 \div 1,5$.

Исследуемый вибропитатель с инерционным приводом направленного действия имеет амплитуду колебаний $A = 4 \text{ мм}$, плоскость грузонесущего органа (лоток вибропитателя) установлен под углом $\beta = 10^\circ$. А угол вибраций, т.е. угол между направлением возмущающей силы F и плоскостью грузонесущего органа составляет $\alpha = 30^\circ$, длина вибропитателя $L = 2 \text{ м}$, ширина рабочего органа $b = 1,2 \text{ м}$, высота бортов $h = 0,5 \text{ м}$. Привод инерционный с частотой колебаний $n = 940 \text{ мин}^{-1}$.

Определим основные параметры вибропитателя для выпуска горной массы плотностью $\gamma = 2,2 \text{ т/м}^3$ и поперечным размером максимального куска $0,5 \text{ м}$.

Коэффициент режима работы определим по формуле (3.1), вычислив предварительно

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 940}{30} = 98,38 \text{ рад/с;}$$

$$K_p = \frac{0,4 \cdot 10^{-2} \cdot 98,38^2 \cdot \sin 30^0}{9,81 \cdot \cos 10^0} = 2$$

Скорость транспортирования (м/с) горной массы грузонесущим органом вибропитателя

$$v = (k_1 \pm k_2 \cdot \sin \beta) \cdot A \cdot \omega \cdot \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{1}{K_p}} \quad (3.2)$$

где k_1 и k_2 — эмпирические коэффициенты, значения которых зависят от свойств транспортируемой горной массы (для рядовой крупнокусковой руды $k_1 = 0,7 \div 1$, $k_2 = 1,5 \div 2$); A — амплитуда колебаний, мм.

В формуле (3.2) знак «—» принимается для вибропитателей, работающих на подъем, знак «+» — для работающих на спуск [6].

Так как у исследуемого вибропитателя угол наклона грузонесущего органа составляет 10^0 , оно работает на спуск и в формуле (3.2) для расчета скорости транспортирования горной массы грузонесущим органом вибропитателя принимаем знак «+».

Скорость транспортирования горной массы:

$$\begin{aligned} v &= (k_1 + k_2 \cdot \sin \beta) \cdot A \cdot \omega \cdot \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{1}{K_p}} = \\ &= (0,7 + 1,75 \cdot \sin 10^0) \cdot 0,004 \cdot 98,38 \cdot \cos 30^0 \sqrt{1 - \frac{1}{2}} = 0,242 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Техническая производительность (т/ч) вибропитателя

$$Q_m = 3600 \cdot \Omega \cdot v \cdot \gamma \cdot k_3, \quad (3.3)$$

где Ω — геометрическая площадь поперечного сечения грузонесущего органа, м^2 ; k_3 — коэффициент заполнения грузонесущего органа — для забойных вибропитателей $k_3 = 0,6 \div 1$ (меньшие значения принимают для крупнокусковой горной массы, большие — для мелкокусковой), для виброконвейеров $k_3 = 0,35 \div 0,5$; v — скорость транспортирования (для горизонтально установленных вибропитателей $v = 0,2 \div 0,3$ м/с, для наклонных $v = 0,3 \div 0,4$ м/с).

Ширина грузонесущего органа вибропитателя должна составлять не менее 2—2,5 от среднего размера куска транспортируемой горной массы, а высота бортов — не менее размера куска.

Площадь поперечного сечения грузонесущего органа $\Omega = b \cdot h = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ м}^2$, коэффициент заполнения $k_3 = 0,9$.

Техническая производительность вибропитателя [см. формулу (3.3)]

$$Q_m = 3600 \cdot \Omega \cdot v \cdot \gamma \cdot k_3 = 3600 \cdot 0,60 \cdot 0,242 \cdot 2,2 \cdot 0,9 = 1035 \text{ т/ч.}$$

Мощность двигателя вибропривода (кВт)

$$N = \frac{k_{зан} \cdot q \cdot g \cdot (L \pm H) \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad (3.4)$$

где $q = Q_m / (3,6v)$ — линейная масса груза на грузонесущем органе, кг/м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; L и H — длина и высота транспортирования, м; $k_{зан} = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент запаса мощности; η — КПД вибропривода. Для вибропитателей, работающих на подъем, принимают знак «+», на спуск — знак «—».

Линейная масса груза

$$q = \frac{Q_m}{3,6 \cdot v} = \frac{1035}{3,6 \cdot 0,242} = 1188 \text{ кг/м}$$

Коэффициент запаса мощности $k_{зан} = 1,1$, высота транспортирования $H = L \sin \beta = 2 \sin 10^\circ = 0,348 \text{ м}$, $\eta = 0,85$.

Тогда мощность двигателя [см. формулу (3.4)]

$$N = \frac{1,1 \cdot 1188 \cdot 9,81 \cdot (2 - 0,348) \cdot 0,242}{1000 \cdot 0,85} = 6,03 \text{ кВт}$$

Так как вибропитатель, имеющийся на производстве должен оснащаться двумя двигателями, а механическую часть переделывать дорого, принимаем два асинхронных трехфазных двигателя по 3 кВт.

Выбираем электродвигатель типа *KEE-45-6B*, технические параметры которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 –Технические параметры двигателя *KEE-45-6B*

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке		
			Скольжение, %	КПД, %	$\cos\varphi$
<i>KEE-45-6B</i>	1000	3	6	85	0.81

Продолжение таблицы 5

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{K}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{M}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{H}}}$	$k_{i\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}}$	Степень защиты	Климатическое исполнение	$J_{\text{ДВ}}, \text{кг}\cdot\text{м}^2$
2.0	2.5	1.8	6	IP55	У3	0,017

$z_p = 3$ – число пар полюсов.

3.2 Расчет параметров схемы замещения АД

Исходные данные для определения параметров схемы замещения:

- частота питающей сети электродвигателя $f_{IH} = 50$ Гц;
- фазное напряжение двигателя $U_{I\phi H} = 220$ В;
- мощность двигателя $P_{\text{двн}} = 3$ кВт;
- скольжение при номинальной нагрузке $s_H = 6$ %;
- КПД при номинальной нагрузке $\eta_H = 85$ %;
- $\cos\varphi$ при номинальной нагрузке $\cos\varphi_H = 0,81$;
- синхронная частота вращения $n_0 = 1000$ об/мин;
- кратность пускового момента $m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{H}}} = 2$;
- кратность максимального момента $m_{\text{K}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{H}}} = 2,5$;
- кратность минимального момента $m_{\text{M}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{H}}} = 1,8$;

- кратность пускового тока $k_{\text{идв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}} = 6;$

- число пар полюсов $z_{\text{р}} = \frac{60 \cdot f_{1\text{н}}}{n_0} = 3;$

- момент инерции двигателя $J_{\text{дв}} = 0,017 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$

Определяем синхронную угловую частоту вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot n_0 = (1 - \frac{s_{\text{н}}}{100}) \cdot n_0 = (1 - \frac{6}{100}) \cdot 1000 = 940 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot \omega_0 = (1 - \frac{s_{\text{н}}}{100}) \cdot \omega_0 = (1 - \frac{6}{100}) \cdot 104,72 = 98,437 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный ток двигателя:

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{двн}}}{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} , [\text{A}]$$

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{двн}} \cdot 1000}{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \frac{\eta_{\text{н}}}{100}} = \frac{3 \cdot 1000}{3 \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot \frac{85}{100}} = 6,602 \text{ A}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{двн}}}{\omega_{\text{н}}} , [\text{H} \cdot \text{м}]$$

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{двн}} \cdot 1000}{\omega_{\text{н}}} = \frac{3 \cdot 1000}{98,437} = 30,476 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Коэффициент загрузки двигателя $P_* = \frac{P}{P_{\text{н}}}$ принимаем $p_z = 0,75.$

Потому что современные асинхронные электродвигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньше номинальной. Двигатели рассчитываются так

потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_*=0.75$ практически равны между собой [3].

КПД двигателя при частичной нагрузке p_z принимаем $\eta_z=0.85+\Delta\eta_z$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке p_z принимаем $\cos\varphi_z=0.75+\Delta\cos\varphi_z$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{p_z \cdot P_{\text{двн}}}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_z}, [A]$$

$$I_{11} = \frac{p_z \cdot P_{\text{двн}} \cdot 1000}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{0,75 \cdot 3 \cdot 1000}{3 \cdot 220 \cdot 0,75 \cdot 0,85} = 5,348 \text{ A}$$

Ток холостого хода:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_* \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right)^2}}, [A]$$

$$I_{0z} = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p_z \cdot I_{1H} \cdot (1 - \frac{s_H}{100})}{1 - p_z \cdot \frac{s_H}{100}} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_z \cdot (1 - \frac{s_H}{100})}{1 - p_z \cdot \frac{s_H}{100}} \right)^2}} = \sqrt{\frac{5,348^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 6,602 \cdot (1 - \frac{6}{100})}{1 - 0,75 \cdot \frac{6}{100}} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - \frac{6}{100})}{1 - 0,75 \cdot \frac{6}{100}} \right)^2}} = 3,263A$$

β – коэффициент характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, значение которого находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$. Для двигателей с малым номинальным значением скольжения следует выбирать $\beta \geq 1$, а для двигателей с повышенным скольжением $\beta \leq 1$.

$$\beta = 1 + \Delta \beta = 1$$

Расчетный коэффициент:

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{идв}} \cdot I_{1H}},$$

$$c_1 = 1 + \frac{I_{0z}}{2 \cdot k_{доб} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{3,263}{2 \cdot 6 \cdot 6.602} = 1.041$$

Критическое скольжение:

$$s_{\kappa} = s_H \cdot \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)}$$

$$s_{\kappa} = \frac{s_H}{100} \cdot \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - (1 - 2 \cdot \frac{s_H}{100} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1))}}{1 - 2 \cdot \frac{s_H}{100} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)} = \frac{6}{100} \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - (1 - 2 \cdot \frac{6}{100} \cdot 1 \cdot (2,5 - 1))}}{1 - 2 \cdot \frac{6}{100} \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)} = 0,353$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_{\kappa} \cdot P_{\text{двн}} \cdot c_1^2 \cdot (\beta + \frac{1}{s_{\kappa}})}, [Ом]$$

$$R_{2np}' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1 - \frac{s_H}{100})}{2 \cdot m_{\kappa} \cdot P_{\text{двн}} \cdot 1000 \cdot c_1^2 \cdot (\beta + \frac{1}{s_{\kappa}})} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - \frac{6}{100})}{2 \cdot 2,5 \cdot 3 \cdot 1000 \cdot 1,041^2 \cdot (1 + \frac{1}{0,353})} = 2,192 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = c_1^2 \cdot R_2' \cdot \beta, [Ом]$$

$$R_1 = c_1^2 \cdot R_{2np}' \cdot \beta = 1,041^2 \cdot 2,192 \cdot 1 = 2,282 \text{ Ом}$$

Коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного сопротивление ротора:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\kappa}}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,353}\right)^2 - 1^2} = 2.647$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме:

$$X_{\kappa H} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2', [Ом]$$

$$X_{\kappa H} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_{2np}' = 2,647 \cdot 1,041 \cdot 2,192 = 6,04 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\kappa\kappa} = 0,42 \cdot 6,04 = 2,537 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{2,537}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 8,075 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме:

$$X_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa\kappa}}{c_1}, [\text{Ом}]$$

$$X_{2\sigma np} = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa\kappa}}{c_1} = \frac{5,876}{1,041} = 3,365 \text{ Ом}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}}, [\text{Гн}]$$

$$L_{2\sigma np} = \frac{X_{2\sigma np}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{3,365}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,011 \text{ Гн}$$

ЭДС цепи намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем), в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1\phi н} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi н} \cdot \sin \varphi_n - I_{1\phi н} \cdot X_{1\sigma})^2}, [B]$$

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\phi н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi н} \cdot \sin(\arccos(\cos \varphi_n)) - I_{1н} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,81 - 6,602 \cdot 2,282)^2 + (220 \cdot \sin(\arccos(0,81)) - 6,602 \cdot 2,537)^2} = 198,03 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0}, [\text{Ом}]$$

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_{0з}} = \frac{198,03}{3,263} = 60,696 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{60,696}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,193 \text{ Гн}$$

Адекватность расчета:

$$M_{\text{эмн1}} = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R_{2np}}{\omega_0 \cdot \frac{s_H}{100} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_{2np}}{\frac{s_H}{100}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_{2np}}{\frac{s_H}{100} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

$$\psi_{2Hz} = \sqrt{2} \cdot I_{0z} \cdot L_{\mu} = 0.891$$

$$M_{\text{эмп}} = M_{\text{эмп1}}$$

$$M_{\text{эмн2}} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{\mu} + L_{2\sigma np}} \cdot \psi_{2Hz} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_{0z}^2} \quad I_0 = I_{0z} \quad \psi_{2H} = \psi_{2Hz}$$

Проверяемые условия

$$M_{\text{двн}} < M_{\text{эмн1}} \leq 1,1 \cdot M_{\text{двн}};$$

$$M_{\text{эмн1}} \approx M_{\text{эмн2}}$$

$$M_{\text{двн}} = 30,476 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эмн1}} = 32,788 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$1,1 M_{\text{двн}} = 33,524 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эмн2}} = 30,85 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\Delta_M = (M_{\text{эмн1}} - M_{\text{эмн2}})$$

$$\Delta_M = 1,937 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент от сил трения:

$$\Delta_{MC} = M_{\text{эмн1}} - M_{\text{двн}}$$

$$\Delta_{MC} = 2,311 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Все полученные данные сводим в таблицу 6

Таблица 6.

<i>Параметр</i>	<i>R₁</i>	<i>X_{1σ}</i>	<i>L_{1σ}</i>	<i>X_μ</i>	<i>L_μ</i>
Значение	2,282	2,537	8,075*10 ⁻³	60,696	0,1932
<i>Параметр</i>	<i>R_{2np}</i>	<i>X_{2σnp}</i>	<i>L_{2σnp}</i>	<i>X_{кн}</i>	<i>Δ_{MC}</i>
Значение	2,192	3,365	0,011	6,04	2,311

3.3 Расчет естественных статических характеристик АД

Исходные данные для расчета естественных статических характеристик:

- частота питающей сети электродвигателя $f_{1н} = 50$ Гц;
- фазное напряжение двигателя $U_{1фн} = 220$ В;
- синхронная частота вращения $n_0 = 1000$ об/мин;
- синхронная частота вращения $\omega_0 = 104,72$ рад/с;
- номинальная частота вращения двигателя $\omega_n = 98,437$ рад/с;
- номинальный ток двигателя $I_{1н} = 6,602$ А;
- номинальный момент двигателя $M_{0вн} = 30,476$ Н·м;
- момент от сил трения $\Delta_{МС} = 2,311$ Н·м;
- число пар полюсов $z_p = \frac{60 \cdot f_{1н}}{n_0} = 3$;
- активное сопротивление обмотки статора $R_1 = 2,282$ Ом;
- индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме $X_{1\sigma} = 2,537$ Ом;
- индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме $L_{1\sigma} = 8,075 \cdot 10^{-3}$ Гн;
- индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме $X_{кн} = 6,04$ Ом;
- приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме $R_{2нр} = 2,192$ Ом;
- приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме $X_{2\sigma нр} = 3,365$ Ом;
- приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме $L_{2\sigma нр} = 0,011$ Гн;
- индуктивное сопротивление контура намагничивания $X_\mu = 60,696$ Ом;
- результирующая индуктивность, обусловленная потоком в воздушном зазоре $L_\mu = 0,1932$ Гн;
- номинальный электромагнитный момент двигателя $M_{эмн} = 32,788$ Н·м.

Определяем параметры силового канала электропривода

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} = 0,20128 \text{ Гн};$$

$$L_{2np} = L_{2\sigma np} + L_{\mu} = 0,2042 \text{ Гн}.$$

Критическое скольжение:

$$s_k = R_{2np} \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}}\right)^2}{R_1^2 + X_{\kappa n}^2}} = 0,34;$$

Естественная механическая характеристика электродвигателя

У переменной a_i числовой коэффициент перед ω_0 определяет требуемое конечное расчетное значение скорости для каждой характеристики в отдельности в зависимости от частоты управления. Он может находиться в пределах $0 \dots 0,8$

$$a = 0,7 \cdot \omega_0 \quad \omega_r = (\omega_0 + 0,0001), (\omega_0 - 2) \dots a$$

$$M_r(\omega_r) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_{2np}}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \cdot \left[X_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_{2np}}{\frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_{2np}}{\frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

$$M_r(94,772) = 47,037$$

Критический момент

$$M_{\text{эмк}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_{2np}}{\omega_0 \cdot s_k \cdot \left[X_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_{2np}}{s_k} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_{2np}}{s_k \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, [H \cdot m]$$

Рассчитанный по параметрам двигателя $M_{\text{эмк}} = 79,293 \text{ Нм}$.

Рассчитанный по паспортным данным $M_{\kappa n} = m_{\kappa} \cdot M_{\text{двн}} = 76,19 \text{ Нм}$.

$$\omega_n = 0, \frac{\omega_0}{2} \dots 1,1 \cdot \omega_0 \quad M_n(\omega_n) = M_{\text{эмн}} \quad M_{\text{овн}} = 30,476 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{n1} = 0, \frac{(M_{эмк})}{4} \dots \frac{(M_{эмк})}{2} \quad \omega_{n1}(M_{n1}) = \omega_n \quad M_{k1}(\omega_n) = M_{эмк}$$

$$\omega_k = (1 - s_k) \cdot \omega_0$$

$$\omega_k = 69,143$$

$$M_{k2} = 0, \frac{(M_{эмк})}{2} \dots 1.2 \cdot M_{эмк} \quad \omega_{n2}(M_{k2}) = \omega_k$$

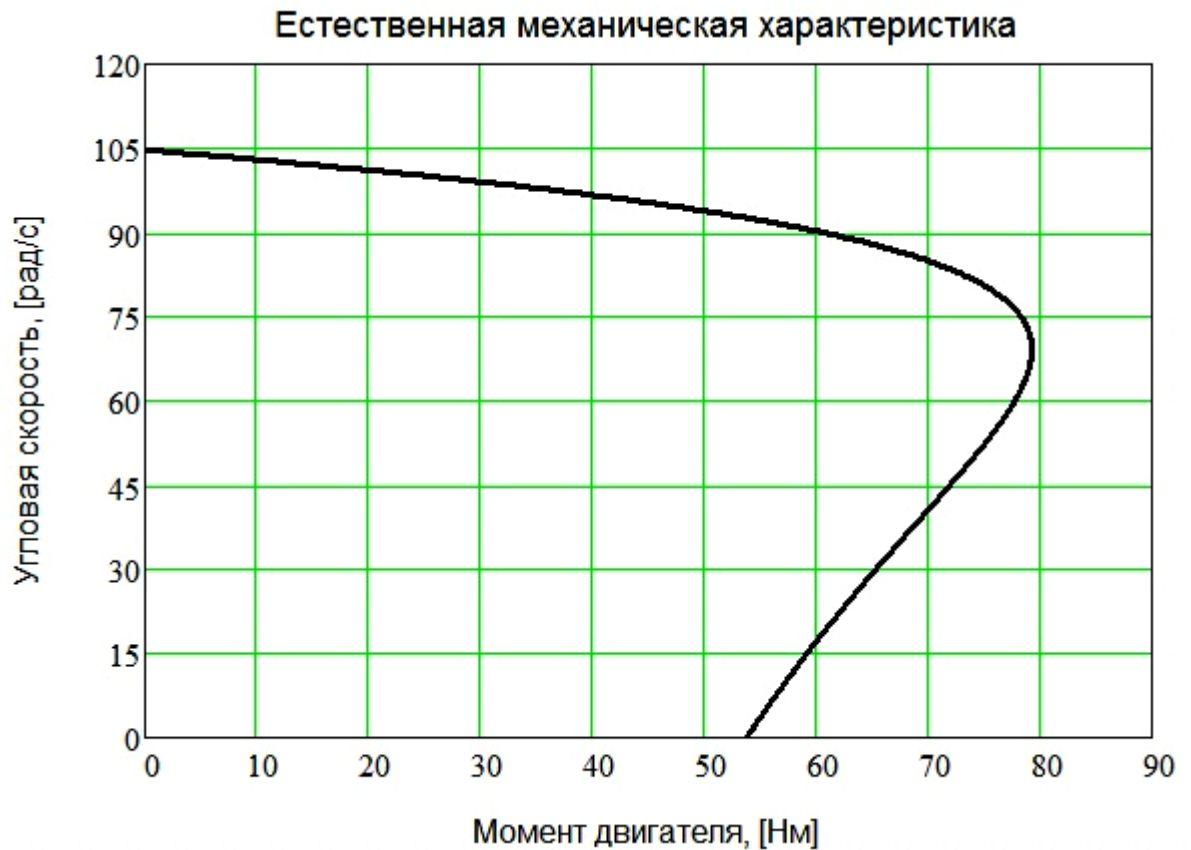


Рис. 12. Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя КЕЕ-45-6В

Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя

$$\omega_i = (\omega_0 + 0.0001), (\omega_0 - 2) \dots 0$$

$$I2_{np}(\omega_i) = \frac{U_{1фн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{2np}}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_{2np}}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0} \cdot X_\mu} \right)^2}}$$

$$I_{0z} = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} = 3.477 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_2(\omega_i) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{2np}}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}}$$

$$I_1(\omega_i) = \sqrt{(I_{0z})^2 + I_{2np}(\omega_i)^2 + 2 \cdot I_{0z} \cdot I_{2np}(\omega_i) \cdot \sin \varphi_2(\omega_i)}$$

$$\omega_{i0} = 0, \frac{\omega_0}{2} \dots 1.1 \cdot \omega_0$$

$$I_{00}(\omega_{i0}) = I_{0z}$$

$$I_{1n}(\omega_{i0}) = I_{1n}$$

$$I_1(\omega_n) = 7.028 \text{ A}$$

$$I_{2np}(\omega_n) = 5.597 \text{ A}$$

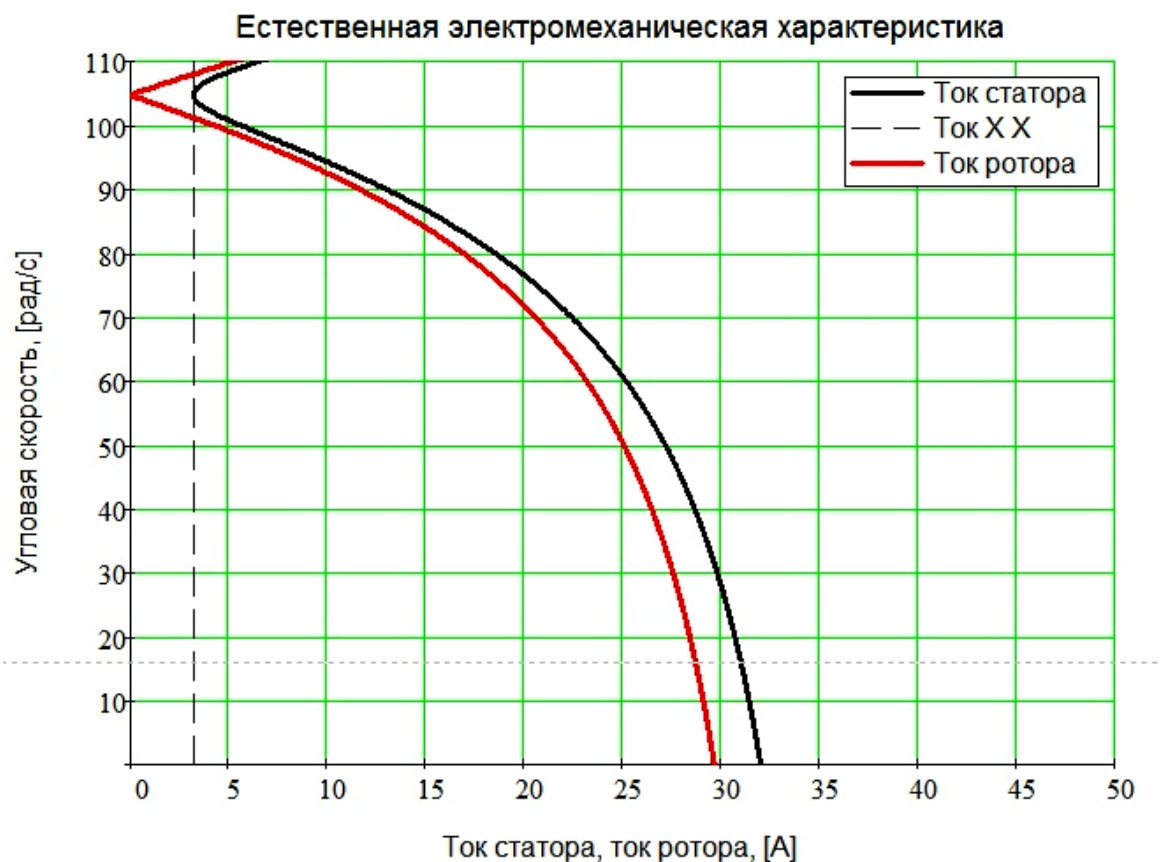


Рис. 13. Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя КЕЕ-45-6В

По максимальному току и по мощности был выбран преобразователь частоты ATV312HU75N4 Schneider Electric 7,5 кВт 500 В, технические параметры которого приведен в таблице.

Из условия:

$$I_{ин} \geq I_{двн}$$

$$17 \text{ А} \geq 2 \cdot 6.6 \text{ А}$$

Таблица 7. Параметры преобразователя частоты

Наименование параметра	Значение
Производитель	Schneider Electric
Мощность, кВт	7,5
Номинальный ток, А	17
Максимальный переходный ток для 60 с., А	25,5
Выходная частота привода, Гц	0...500
Номинальное напряжение сети, В	380...500
Количество фаз сети	3
Частота сети, Гц	50/60
Защитное исполнение	IP20
Масса, кг	6.5

3.4 Расчет статических характеристики АД с учетом закона управления U/f

Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода, выполненного по системе "преобразователь частоты - асинхронный двигатель", обеспечивающего законы регулирования частоты f_{1i} и напряжения U_{1i} обмотки статора асинхронного двигателя:

$$\frac{U_{1i}}{f_{1i}} = \text{const}$$

Характеристики рассчитывать для следующих частот обмоток статора $f_{12} = 37.5$ Гц, $f_{13} = 25$ Гц, $f_{14} = 12.5$ Гц.

Коэффициенты IR – компенсации:

$$K_{KM1} := 0.25 \quad K_{KM2} := 0.5 \quad K_{KM3} := 0.75$$

$$f_{1H} := 50$$

Закон регулирования

$$Z_p = 4.4 \quad Z_p := \frac{U_{1H1}}{f_{1H}}$$

Найдем относительные

значения частот питающего напряжения в соответствии с заданием:

$$f_{1H1} := 50 \quad f_{1ж1} := \frac{f_{1H1}}{f_{1H}} \quad f_{1ж1} = 1$$

$$f_{1H2} := 37.5 \quad f_{1ж2} := \frac{f_{1H2}}{f_{1H}} \quad f_{1ж2} = 0.75$$

$$f_{1H3} := 25 \quad f_{1ж3} := \frac{f_{1H3}}{f_{1H}} \quad f_{1ж3} = 0.5$$

$$f_{1H4} := 12.5 \quad f_{1ж4} := \frac{f_{1H4}}{f_{1H}} \quad f_{1ж4} = 0.25$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя в соответствии с заданием:

$$U_{1H2} := Z_p \cdot f_{1H2} \quad U_{1H2} = 165$$

$$U_{1H3} := Z_p \cdot f_{1H3} \quad U_{1H3} = 110$$

$$U_{1H4} := Z_p \cdot f_{1H4} \quad U_{1H4} = 55$$

$$\omega_{01} := \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H1}}{p} \quad \omega_{01} = 104.72$$

$$\omega_{02} := \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H2}}{p} \quad \omega_{02} = 78.54$$

$$\omega_{03} := \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H3}}{p} \quad \omega_{03} = 52.36$$

$$\omega_{04} := \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H4}}{p} \quad \omega_{04} = 26.18$$

Найдем эквивалентное сопротивление ротора с учетом IR – компенсации

$$R_{1\text{экв}} := \begin{bmatrix} R_1 \\ R_1 \cdot (1 - K_{\text{KM1}}) \\ R_1 \cdot (1 - K_{\text{KM2}}) \\ R_1 \cdot (1 - K_{\text{KM3}}) \end{bmatrix} \quad R_{1\text{экв}} = \begin{pmatrix} 2.284 \\ 1.713 \\ 1.142 \\ 0.571 \end{pmatrix}$$

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики с учетом падения напряжения на диодах и транзисторах преобразователя и с учетом 3й гармоники, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения.

$U_{VD} := 1$ $U_{VT} := 1.5$ - падение напряжения на силовых ключах выпрямителя и инвертора;

$R_{уд} := 3.09 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$ - активное удельное сопротивление медного кабеля сечением 6 мм²;

$L_{каб} := 5 \text{ м}$ - длина кабеля от преобразователя частоты до электродвигателя;

$$R_{1\text{доб}} := R_{уд} \cdot L_{каб} \cdot 10^{-3} \quad R_{1\text{доб}} = 0.015 \text{ Ом}$$

$$I'_{21}(s) := \frac{(U_{1H1} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж1}^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж1}}\right]^2}}$$

$$I'_{22}(s) := \frac{(U_{1H2} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж2}^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж2}}\right]^2}}$$

$$I'_{23}(s) := \frac{(U_{1H3} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж3}^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж3}}\right]^2}}$$

$$I'_{24}(s) := \frac{(U_{1H4} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж4}^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж4}}\right]^2}}$$

Естественная

$$I'_{2(\omega)} := \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega 0 - \omega}{\omega 0}}\right)^2 + (X_{1H} + X'_{2H})^2}}$$

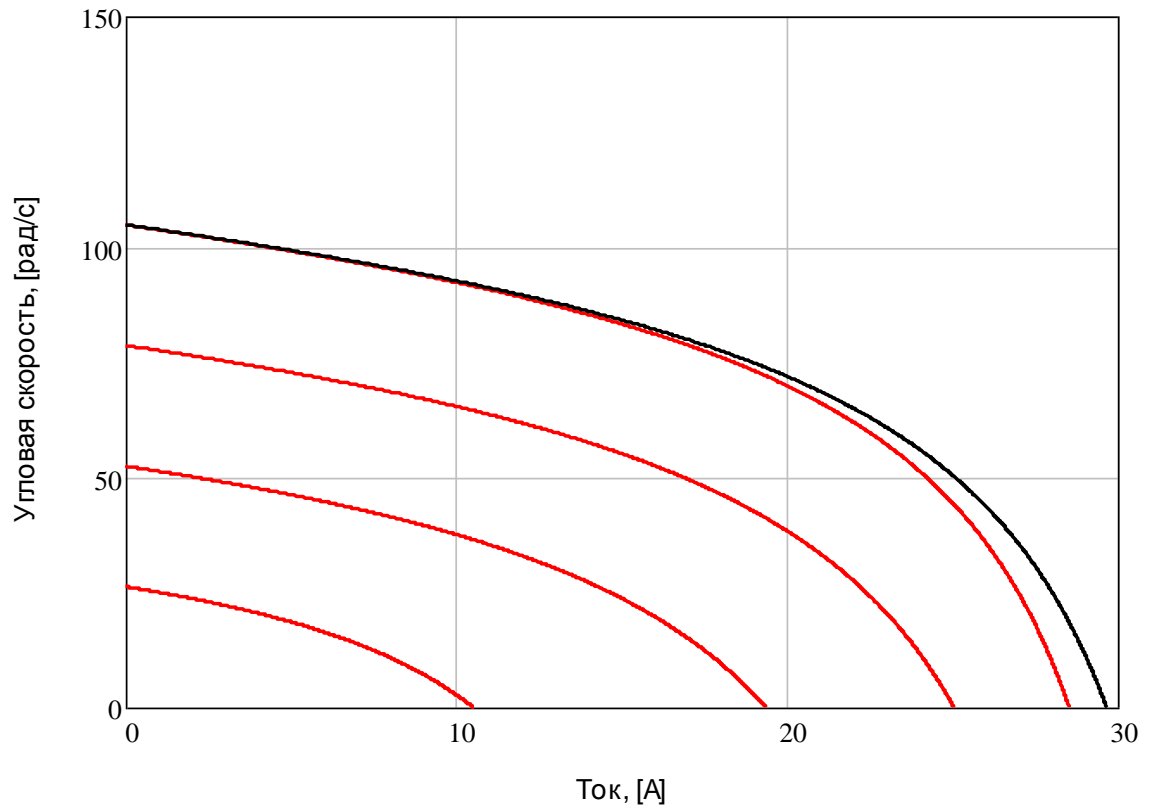


Рис. 14. электромеханические характеристики с учетом падения напряжения на диодах и транзисторах преобразователя

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики, определяющие зависимость тока статора от скольжения:

$$I_{11}(s) := \sqrt{I_0^2 + I'_{21}(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{21}(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1\text{ж}1}}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1\text{доб}} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\text{ж}1}^2}} \right]}$$

$$I_{12}(s) := \sqrt{I_0^2 + I'_{22}(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{22}(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1\text{ж}2}}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1\text{доб}} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\text{ж}2}^2}} \right]}$$

$$I_{13}(s) := \sqrt{I_0^2 + I'_{23}(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{23}(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1\text{ж}3}}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1\text{доб}} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\text{ж}3}^2}} \right]}$$

$$I_{14}(s) := \sqrt{I_0^2 + I'_{24}(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{24}(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{кн} \cdot f_{1ж4}}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж4}^2}} \right]}$$

Естественная:

$$I_1(\omega) := \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \left[\frac{X_{1H} + X'_{2H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1H} + X'_{2H})^2}} \right]}$$

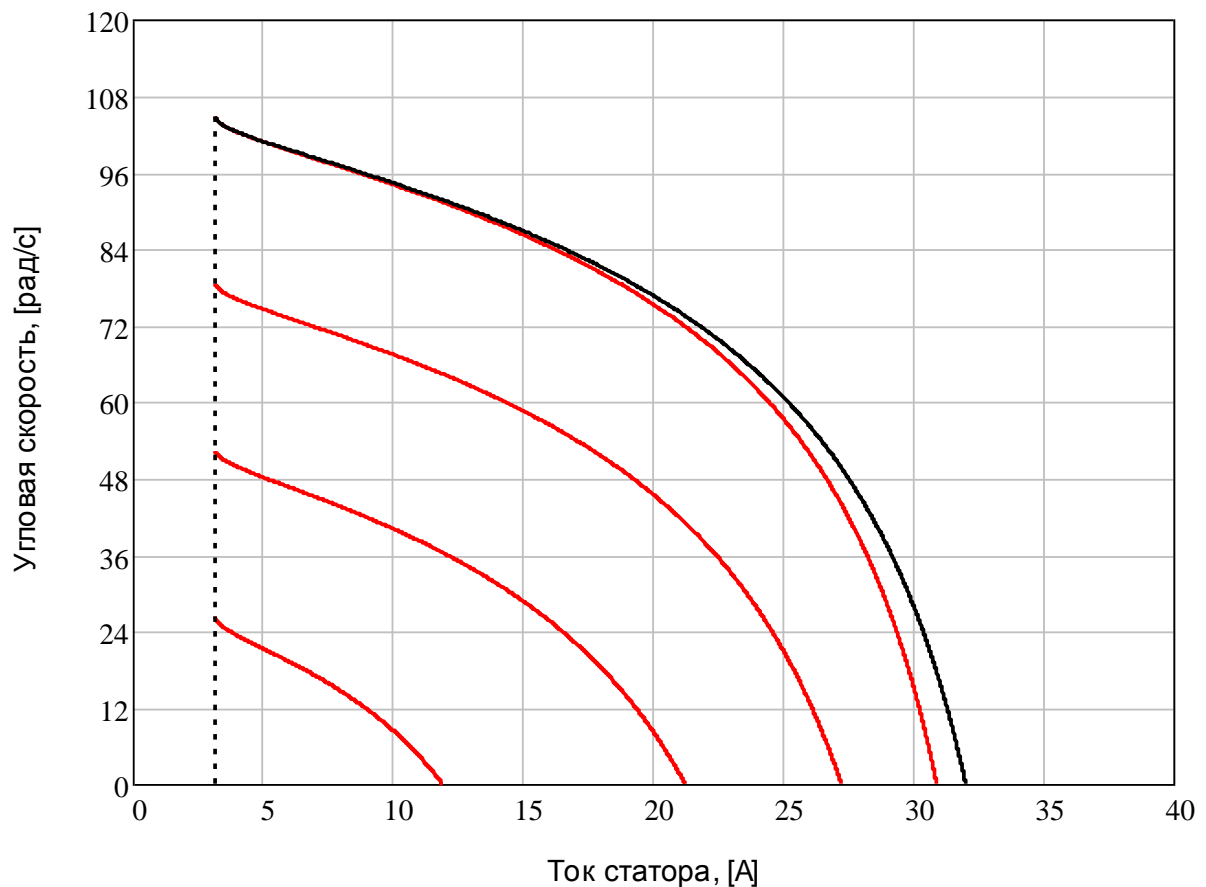


Рис. 15. Электромеханические характеристики, определяющие зависимость тока статора от скольжения

Рассчитаем и построим механические характеристики асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания:

$$M_1(s) := \frac{3 \cdot (U_{1H1} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж1}^2 + \left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж1}} \right]^2 \right]}$$

$$M_2(s) := \frac{3 \cdot (U_{1H2} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R'_2}{\omega_{02} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж2}^2 + \left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж2}} \right]^2 \right]}$$

$$M_3(s) := \frac{3 \cdot (U_{1H3} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R'_2}{\omega_{03} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж3}^2 + \left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж3}} \right]^2 \right]}$$

$$M_4(s) := \frac{3 \cdot (U_{1H4} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R'_2}{\omega_{04} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж4}^2 + \left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left[\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж4}} \right]^2 \right]}$$

Естественная

$$\underline{M}(\omega) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]}$$

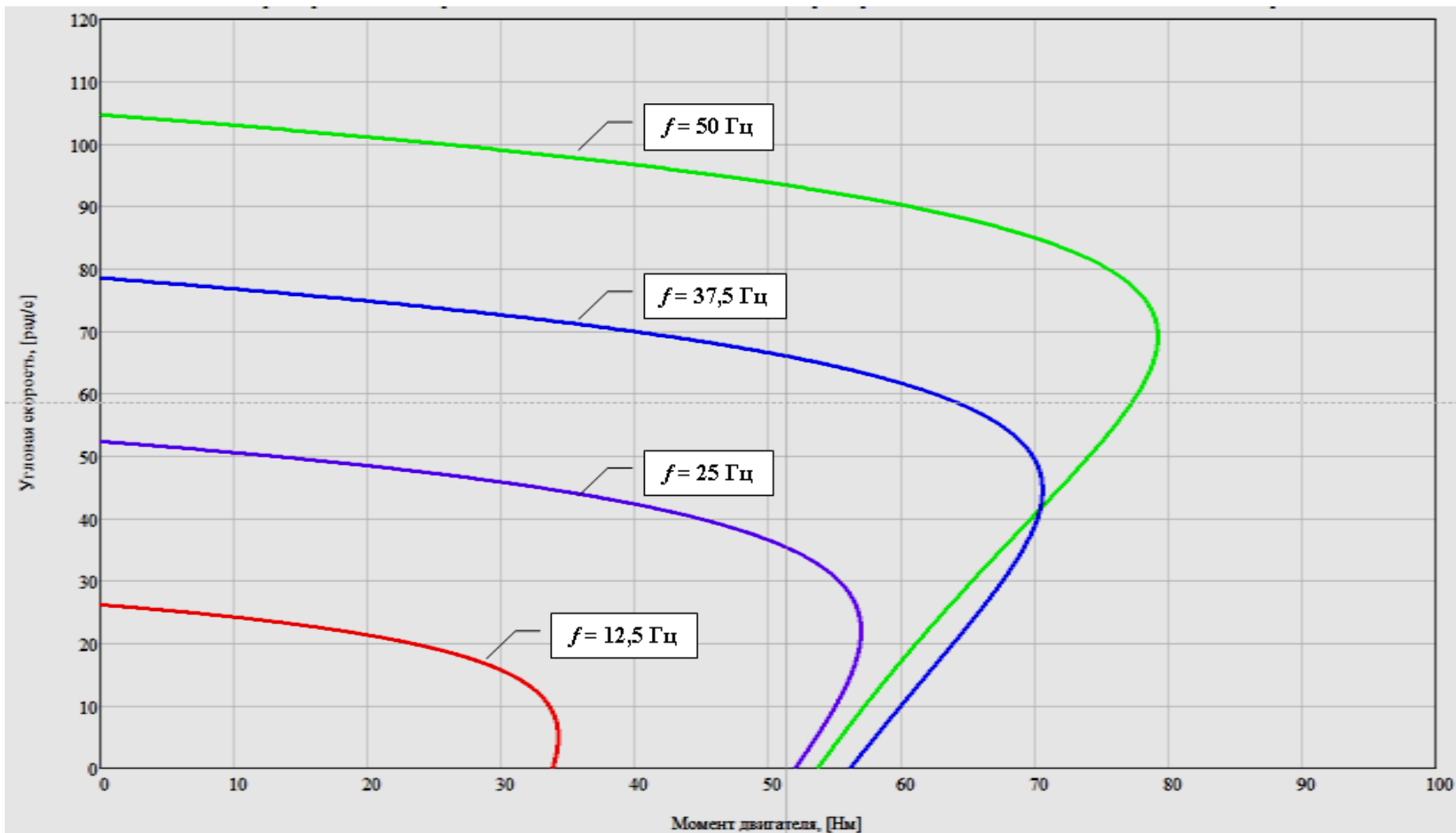


Рис. 16. Механические характеристики асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания.

Рассчитаем и построим механические характеристики асинхронного двигателя с IR - компенсацией при переменных значениях величины и частоты напряжения питания:

$$M_{11}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж1}^2 + \left(R_{1ЭKB_1} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж1}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{21}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H2}^2 \cdot R'_2}{\omega_{02} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж2}^2 + \left(R_{1ЭKB_1} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж2}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{31}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H3}^2 \cdot R'_2}{\omega_{03} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж3}^2 + \left(R_{1ЭKB_1} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж3}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{41}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H4}^2 \cdot R'_2}{\omega_{04} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж4}^2 + \left(R_{1ЭKB_1} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж4}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{12}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж1}^2 + \left(R_{1ЭKB_2} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_2} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж1}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{22}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H2}^2 \cdot R'_2}{\omega_{02} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж2}^2 + \left(R_{1ЭKB_2} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_2} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж2}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{32}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H3}^2 \cdot R'_2}{\omega_{03} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K3}^2 + \left(R_{1ЭKB_2} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_2} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K3}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{42}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H4}^2 \cdot R'_2}{\omega_{04} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K4}^2 + \left(R_{1ЭKB_2} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_2} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K4}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{13}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K1}^2 + \left(R_{1ЭKB_3} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_3} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K1}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{23}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H2}^2 \cdot R'_2}{\omega_{02} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K2}^2 + \left(R_{1ЭKB_3} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_3} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K2}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{33}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H3}^2 \cdot R'_2}{\omega_{03} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K3}^2 + \left(R_{1ЭKB_3} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_3} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K3}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{43}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H4}^2 \cdot R'_2}{\omega_{04} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K4}^2 + \left(R_{1ЭKB_3} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_3} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K4}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{14}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1K1}^2 + \left(R_{1ЭKB_4} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭKB_4} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1K1}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{34}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H3}^2 \cdot R'_2}{\omega_{03} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж3}^2 + \left(R_{1ЭВ4} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭВ4} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж3}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{44}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H4}^2 \cdot R'_2}{\omega_{04} \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1Ж4}^2 + \left(R_{1ЭВ4} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1ЭВ4} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1Ж4}} \right)^2 \right]}$$

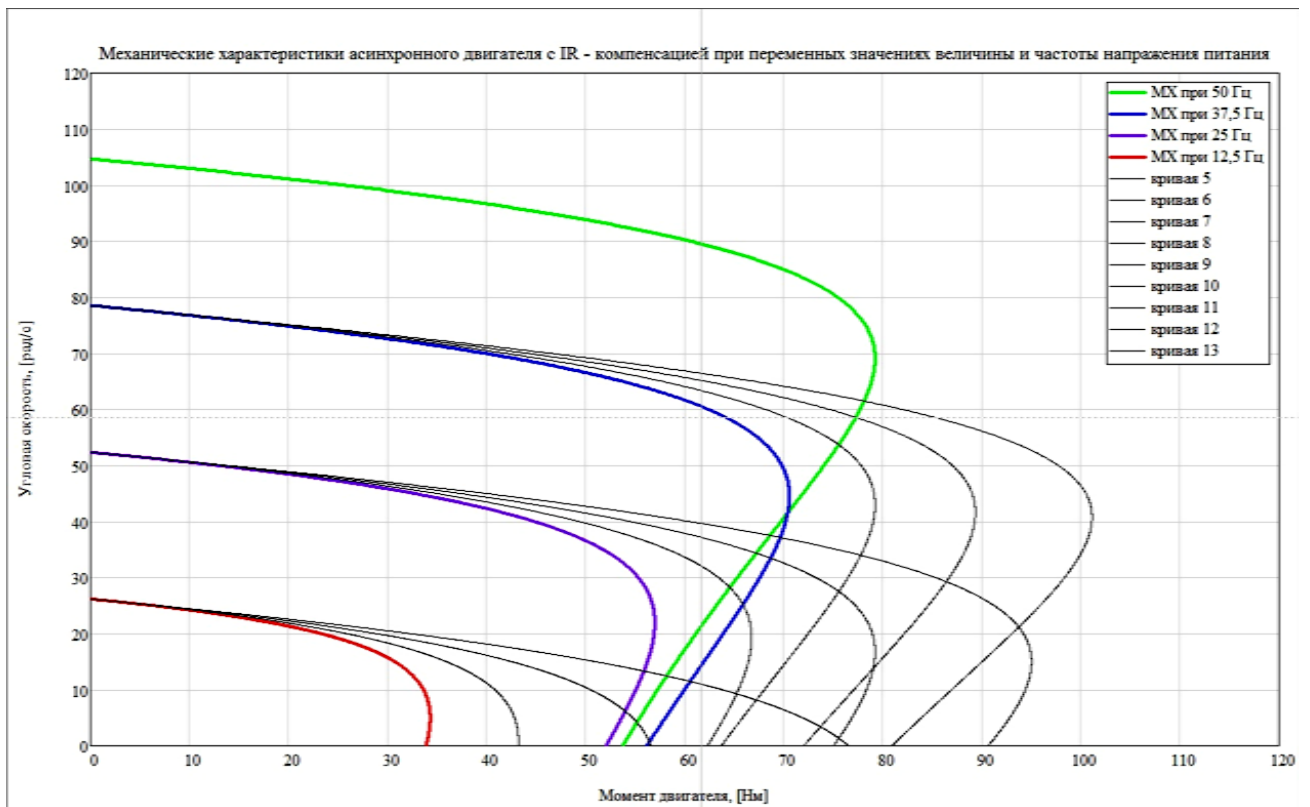


Рис. 17. Механические характеристики асинхронного двигателя с IR - компенсацией при переменных значениях величины и частоты напряжения питания:

3.5 Определение механической характеристики нагрузки

Механическая характеристика нагрузки имеет сложный характер. Для ее определения непосредственно на производстве опытным путем было произведено снятие параметров вибропитателя для двух разных положений дебалансных грузов.

Таблица 8. Параметры вибропитателя при первом положении дебалансных грузов


Частота на ПЧ, [Гц]	12,5	25	37,5	50	 1-положение
Скорость двигателя, [об/мин]	235	470	705	940	
Ток двигателя, [А]	2	2,6	5,4	6,6	
Производительность питателя, т/ч	50	120	160	200	

Таблица 9. Параметры вибропитателя при втором положении дебалансных грузов

Частота на ПЧ, [Гц]	12,5	25	37,5	50	 2-положение
Скорость двигателя, [об/мин]	235	470	705	940	
Ток двигателя, [А]	2,4	3,3	5,9	7,1	
Производительность питателя, т/ч	70	145	190	250	

По результатам эксперимента были построены графики изменения тока и производительности вибропитателя в зависимости от скорости вращения для разных положений дебалансов. По ним видно что, при работе вибропитателя во втором положении дебалансов токи двигателя будут больше, и производительность будет больше чем первый.

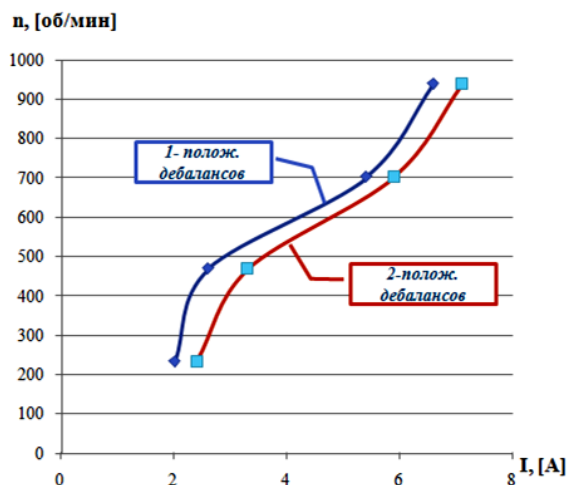


Рис. 18. Изменение тока двигателя в зависимости от состояния дебалансов

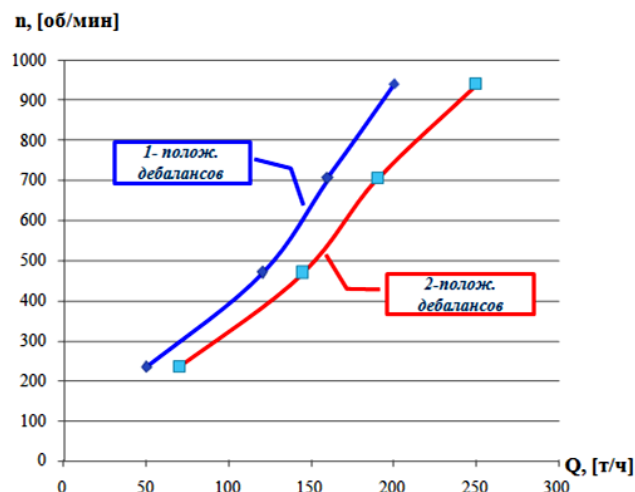


Рис. 19. Изменение производительности вибропитателя в зависимости от состояния дебалансов

По результатам экспериментов была восстановлена механическая характеристика механизма вибропитателя, которая на рис. 20 совмещена с механическими характеристиками асинхронного двигателя.

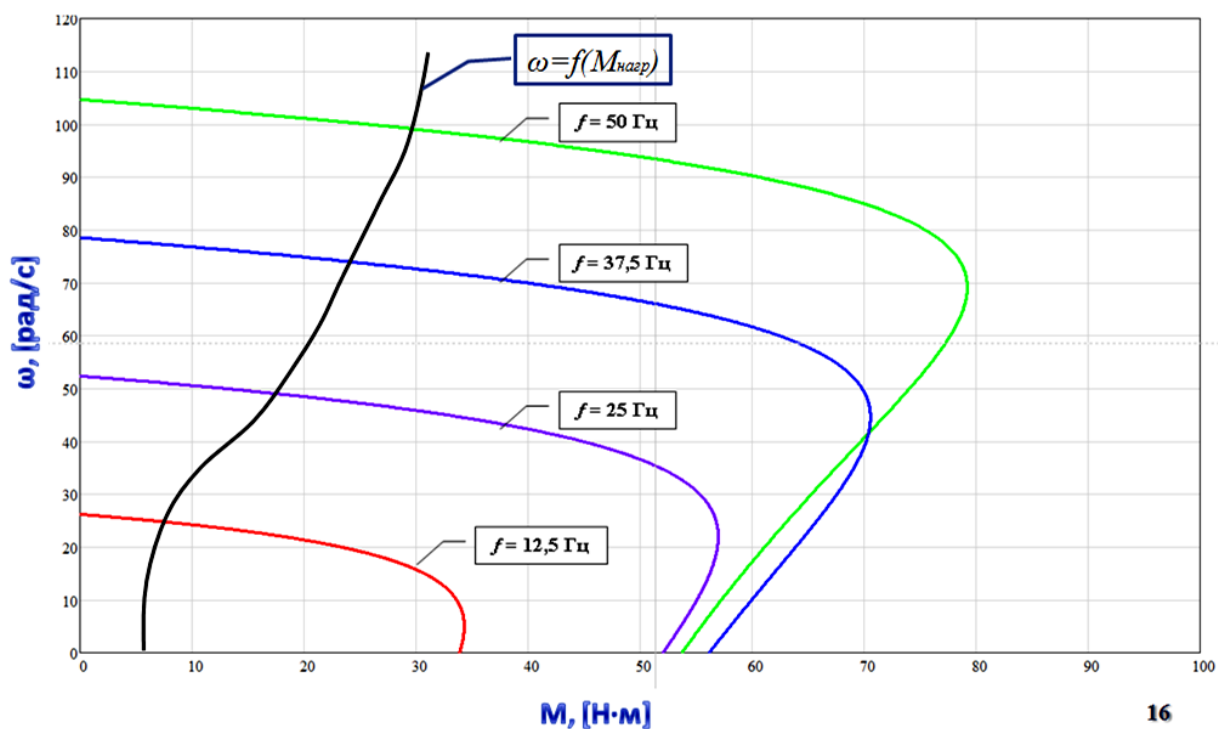


Рис. 20. Механический характер нагрузки и механические характеристики двигателя при разных частотах питающего напряжения

4. МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

4.1 Силовой канал электропривода с векторным управлением

4.1.1 Структурная схема силового канала электропривода

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, выполняющий функцию механического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

Структурная схема силового канала частотно – регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением реализуется на базе структурной схемы двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепление ротора [13]. Структурная схема силового канала частотно – регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением в общем случае представлена на рис. 21.

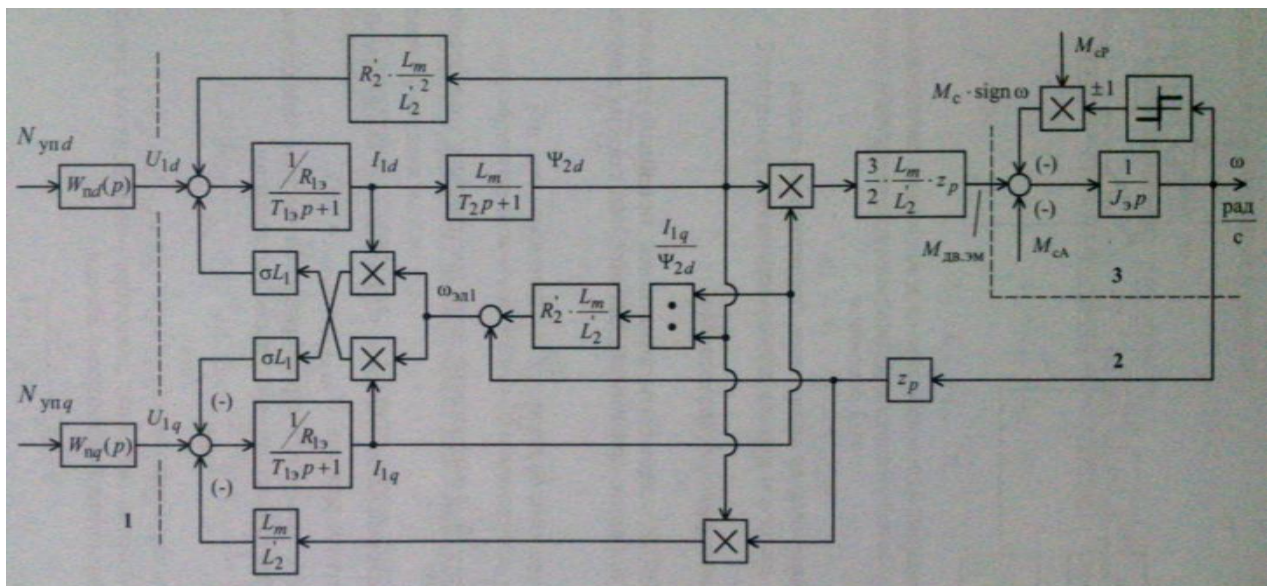


Рис. 21 Структурная схема силового канала асинхронного электропривода с векторным управлением.

4.1.2 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчет параметров преобразователя:

Частота ШИМ $f=5000$ Гц.

Максимальный ток инвертора $I_{\text{имакс}}=25$ А.

Номинальный ток инвертора $I_{\text{и.н}}=17$ А.

Инерционность инвертора характеризуется чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции:

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Расчет параметров двигателя:

Эквивалентные индуктивности обмоток:

- статора $L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} = 0.20128$ Гн

- ротора $L_{2np} = L_{2\sigma np} + L_{\mu} = 0.2042$ Гн

Коэффициент рассеяния $\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 + L_{2np}} = 0.092$

Эквивалентное сопротивление (без учета сопротивления проводов подсоединения двигателя к преобразователю):

$$R_{1\sigma} = R_1 + R_{2np} \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_{2np}^2} = 4.244 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = 4,35 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad T_2 = \frac{L_{2np}}{R_{2np}} = 0.093 \text{ с}$$

Максимальное значение управления на входе преобразователя принимаем $\gamma_{\text{макс}}=0,95$ [13].

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}}}{\gamma_{\text{макс}}} = 567,25 \text{ В} \quad U_c = \frac{U_{d0}}{1.35} = 420.185 \text{ В}$$

Коэффициент усиления при соединении обмоток статора двигателя в звезду:

$$k_u = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}} = 327.502 \text{ Ом}$$

4.1.3 Расчет статических характеристик системы

«преобразователь – двигатель» при векторном управлении

Структурная схема асинхронного электродвигателя в статическом режиме приведена на рис.22.

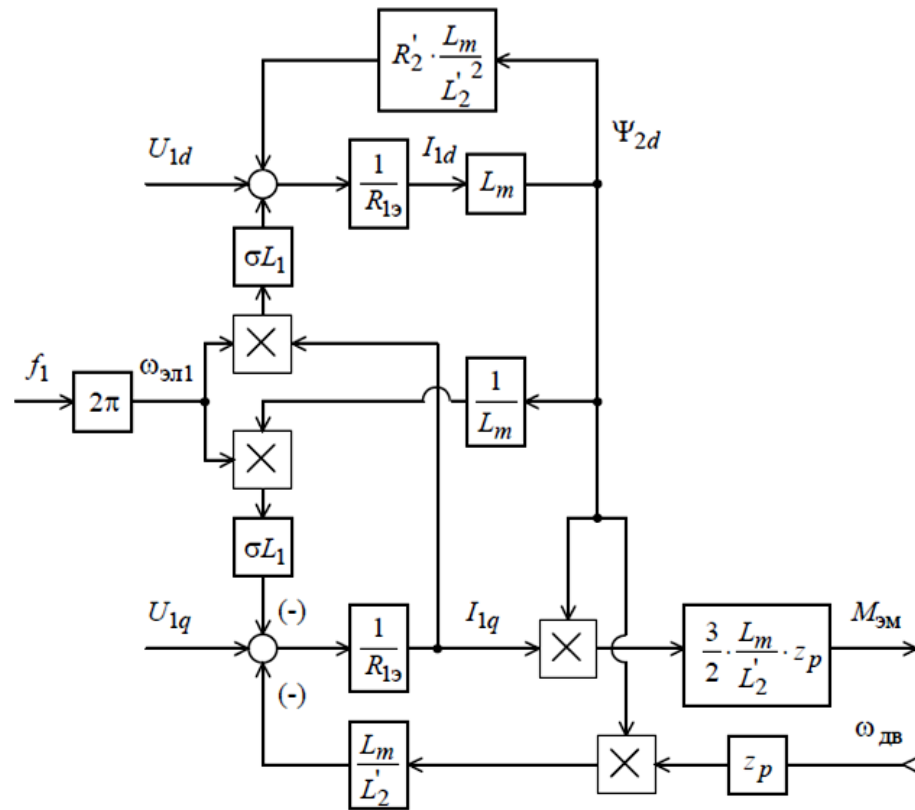


Рис.22. Структурная схема асинхронного электродвигателя при векторном управлении в статическом режиме

Структурная схема на рис.22. описывается следующей системой уравнений:

$$M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{2np}} \cdot z_p \cdot \psi_{2d} \cdot I_{1q}$$

$$I_{1q} = (U_{1q} - \frac{L_{\mu}}{L_{2np}} \cdot z_p \cdot \psi_{2d} \cdot \omega_{дв} - \frac{\sigma \cdot L_1}{L_{\mu}} \cdot \psi_{2d} \cdot 2\pi \cdot f_1) \cdot \frac{1}{R_{13}};$$

$$I_{1d} = (U_{1d} + R_{2np} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{2np}^2} \cdot \psi_{2d} + \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q} \cdot 2\pi \cdot f_1) \cdot \frac{1}{R_{13}};$$

$$\psi_{2d} = I_{1d} \cdot L_{\mu}$$

Электромагнитный момент

$$M_{\text{эмн1}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_{2\text{нр}}}{\omega_0 \cdot \frac{s_n}{100} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_{2\text{нр}}}{\frac{s_n}{100}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_{2\text{нр}}}{\frac{s_n}{100} \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} \quad M_{\text{эмн1}} = 32,788 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Если принять $M_{\text{эп.макс}}$ из условия $M_{\text{эп.макс}} \leq 2 \cdot M_{\text{дв.н}}$, тогда $M_{\text{эп.макс}} = 2 \cdot M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{сдв}} = 63,263 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$I_{1\text{qмакс}} = \frac{M_{\text{эпмакс}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_\mu}{L_{2\text{нр}}} \cdot z_p \cdot \psi_{2\text{н}}} = 16,67 \text{ А}$$

$$\text{mod } I_{1\text{макс}} = \sqrt{I_{1\text{qмакс}}^2 + I_{1\text{дн}}^2} = 17,3 \text{ А}$$

$$I_{\text{эпмакс}} = \frac{\text{mod } I_{1\text{макс}}}{\sqrt{2}} = 12,235 \text{ А}$$

Должно выполняться условие $I_{\text{эп.макс}} \leq I_{\text{н.макс}}(60\text{с})$

$$I_{\text{эп.макс}} = 12,235 \text{ А} \quad I_{\text{н.макс}}(60\text{с}) = 25$$

4.1.4 Параметры настройки контура тока с ПИ – регулятором

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренних перекрестных связей в структуре двухфазного асинхронного двигателя приведена на рис. 23.

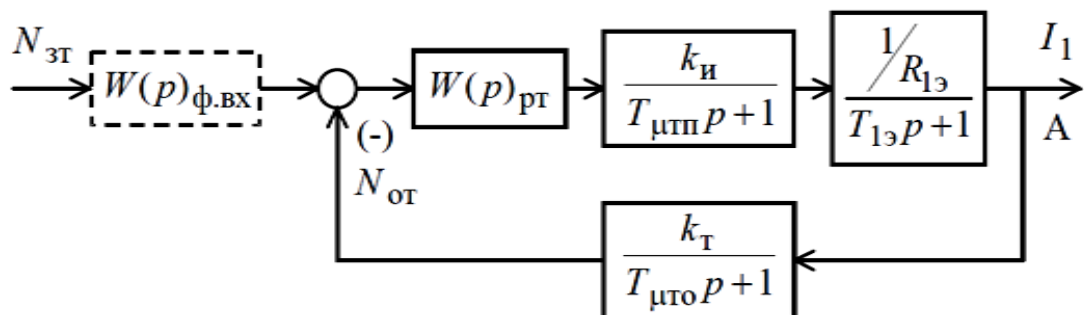


Рис.20. Структурная схема линеаризованного контура тока

На схеме рис.23. приняты следующие обозначения:

$N_{зт}$ – задание на ток;

$T_{\mu\tau\pi} \leq T_{ос.т}$ – малая постоянная времени в прямом канале контура тока, с.

Передаточная функция ПИ – регулятора тока

$$W_{\text{рт}}(p) = k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}$$

Параметры настройки регулятора:

- постоянная времени регулятора тока

$$T_{\text{рт}} = T_{1э}, \text{ с} \quad T_{\text{рт}} = 4,35 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

- коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{1э} \cdot R_{1э}}{k_{и} \cdot k_{т} \cdot a_{т} \cdot T_{\mu\tau\pi}} = 2,35$$

где

$T_{\mu\tau\pi} = T_{\text{шим}} + T_{\mu\tau\sigma} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока;

$a_{т}=2$ – коэффициент оптимизации контура тока [13].

Оптимизированный контур тока имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{т.раз}} = \frac{1}{a_{т} \cdot T_{\mu\tau\pi} \cdot T_{\mu\tau\sigma} \cdot T_{\mu\tau\pi} \cdot p^3 + a_{т} \cdot T_{\mu\tau\pi}^2 \cdot p^2 + a_{т} \cdot T_{\mu\tau\pi} \cdot p};$$

- замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{\frac{1}{k_{т}} \cdot (T_{\mu\tau\sigma} p + 1)}{a_{т} T_{\mu\tau\pi} T_{\mu\tau\sigma} T_{\mu\tau\pi} p^3 + a_{т} T_{\mu\tau\pi}^2 p^2 + a_{т} T_{\mu\tau\pi} p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_{т}} \cdot (T_{\mu\tau\sigma} p + 1)}{a_{т} T_{\mu\tau\pi}^2 p^2 + a_{т} T_{\mu\tau\pi} p + 1}.$$

4.1.5 Параметры настройки контура потокосцепления с ПИ – регулятором

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ – регулятором приведена на рис. 24.

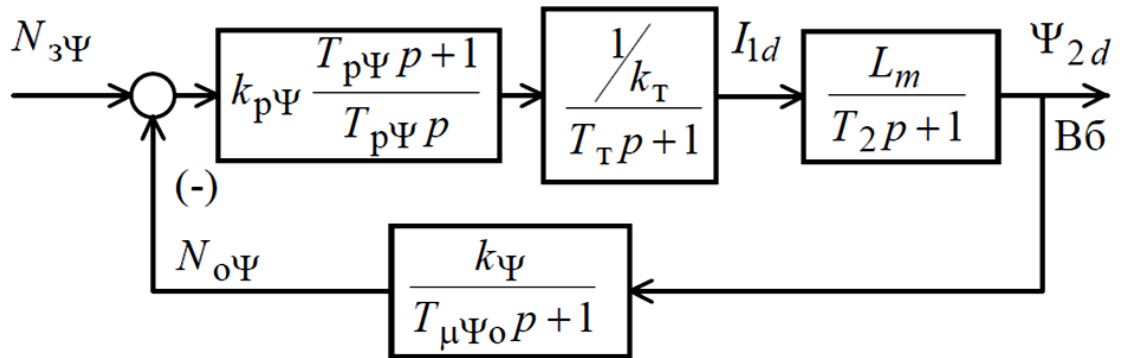


Рис. 24. Структурная схема линеаризованного контура потокосцепления с ПИ – регулятором

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{т.зам}} \approx \frac{1}{\frac{k_T}{T_T \cdot p + 1}},$$

где

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu\Gamma\Xi}$$

- эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Передаточная функция ПИ – регулятора потокосцепления

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора:

- постоянная времени регулятора потокосцепления

$$T_{p\Psi} = T_2, \text{ с} \quad T_{p\Psi} = 0,093 \text{ с}$$

- коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_\mu \cdot k_\mu} \cdot \frac{1}{a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi\Xi}} = 3.7$$

где

$T_{\mu\psi\varepsilon} = T_{\tau} + T_{\mu\psi o} = 0,0026 \text{ с}$ - эквивалентная малая постоянная времени

контура потокосцепления;

$a_{\psi}=2$ – коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Контур потокосцепления с ПИ – регулятором, настроенный таким образом, имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\psi.\text{раз}} = \frac{1}{a_{\psi} \cdot T_{\tau} \cdot T_{\mu\psi o} \cdot T_{\mu\psi\varepsilon} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi\varepsilon}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi\varepsilon} \cdot p};$$

- замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\psi.\text{зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi o} p + 1)}{a_{\psi} T_{\tau} T_{\mu\psi o} T_{\mu\psi\varepsilon} p^3 + a_{\psi} T_{\mu\psi\varepsilon}^2 p^2 + a_{\psi} T_{\mu\psi\varepsilon} p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi o} p + 1)}{a_{\psi} T_{\mu\psi\varepsilon}^2 p^2 + a_{\psi} T_{\mu\psi\varepsilon} p + 1}.$$

4.1.6 Параметры настройки контура скорости с ПИ – регулятором

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ – регулятором приведена на рис. 25.

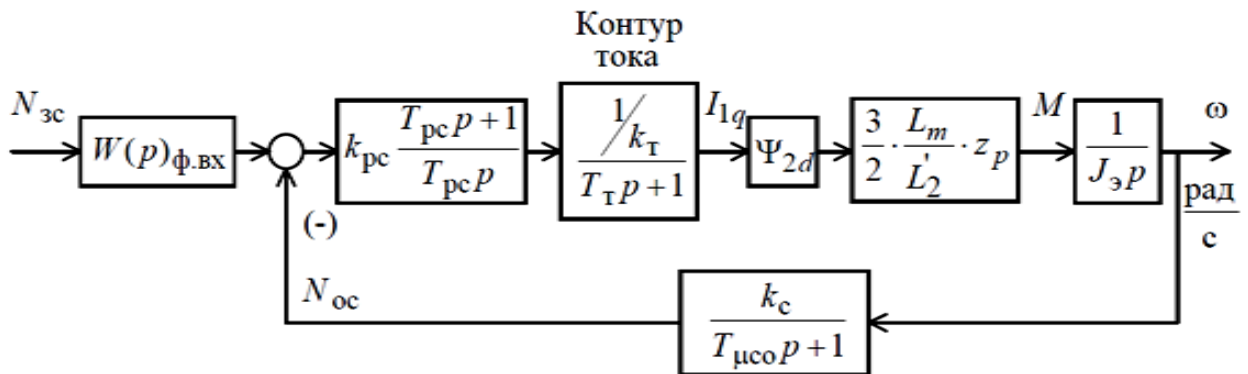


Рис. 25. Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ – регулятором

Передаточная функция ПИ – регулятора скорости

$$W(p)_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}} \cdot p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяется по выражениям:

$$k_{pc} = \frac{J_{\vartheta} \cdot k_T}{\psi_{2d} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{2np}} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_{\mu c3}} = 1.399 \cdot 10^3$$

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c3} = 0,0064 \text{ с}$$

где

$$T_{\mu c3} = T_T + T_{\mu c0} = 0,0016 \text{ с} - \text{эквивалентная малая постоянная времени}$$

оптимизированного контура скорости;

$b_c = a_c = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости.

Контур скорости с ПИ – регулятором имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{с.раз}} = \frac{b_c a_c T_{\mu c3} p + 1}{b_c a_c^2 T_T T_{\mu c0} T_{\mu c3}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\mu c3}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu c3}^2 p^2};$$

- замкнутого контура по управлению

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с.зам}} &= \frac{1}{k_c} \cdot \frac{(b_c a_c T_{\mu c3} p + 1) \cdot (T_{\mu c0} p + 1)}{b_c a_c^2 T_T T_{\mu c0} T_{\mu c3}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\mu c3}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu c3}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu c3} p + 1} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{k_c} \cdot (b_c a_c T_{\mu c3} p + 1) \cdot (T_{\mu c0} p + 1)}{b_c a_c^2 T_{\mu c3}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu c3}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu c3} p + 1}. \end{aligned}$$

4.2 Разработка имитационной модели электропривода

4.2.1 Математическая модель асинхронного электродвигателя

С помощью программной среды MATLAB было произведено математическое моделирование АД в неподвижной системе координат, структурная схема и имитационная модель которого представлены на рис.26.

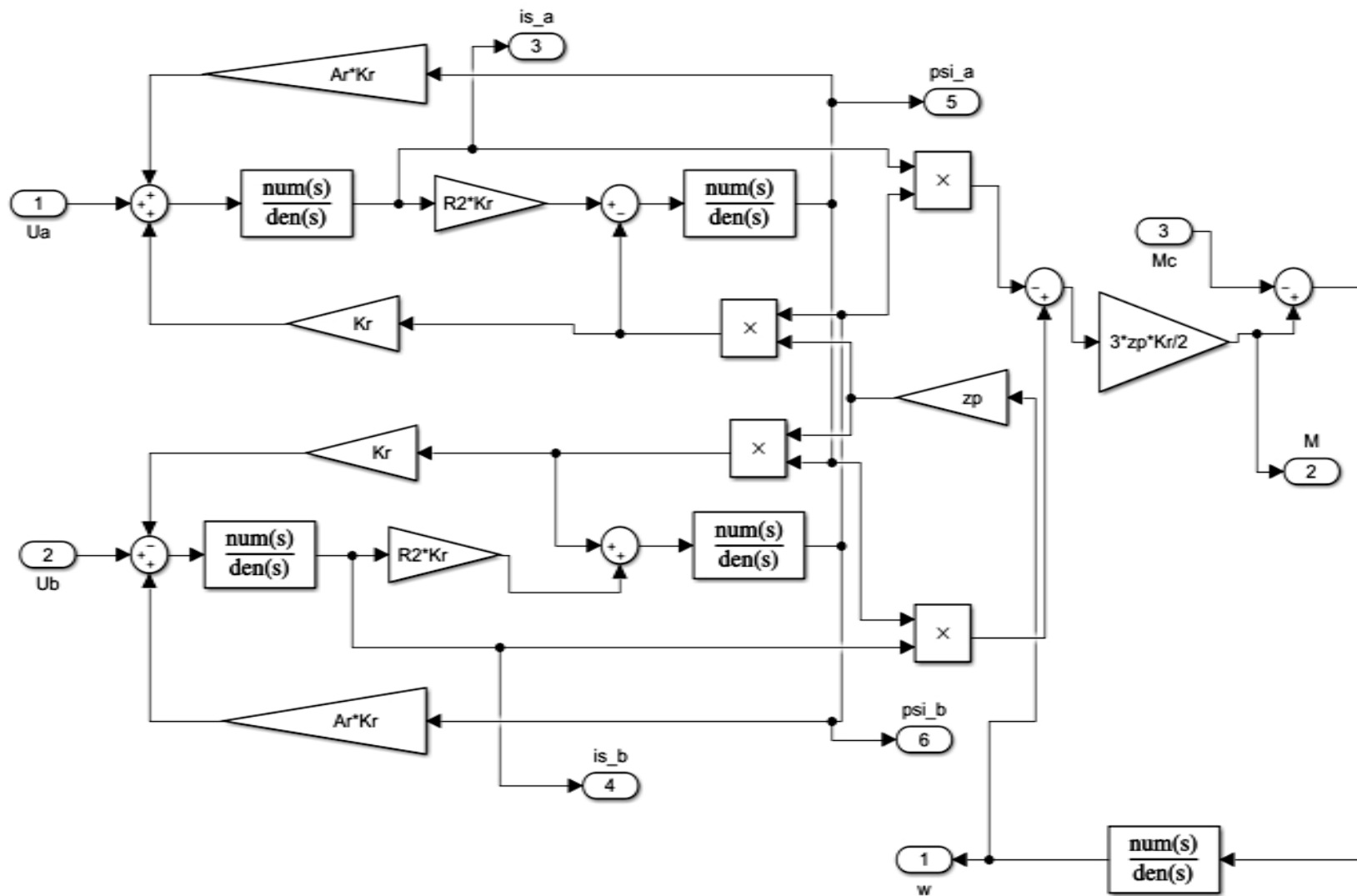


Рис. 26. Структурная схема и имитационная модель асинхронного двигателя в MATLAB

Система управления электропривода реализована как многоконтурная система регулирования и включает в себя модели:

- контура регулирования тока I_{ld} с ПИ – регулятором (рис. 27.);
- контура регулирования тока I_{lq} с ПИ – регулятором;
- контура регулирования скорости (рис. 28.) двигателя $\omega_{дв}$ с ПИ – регулятором;
- контура регулирования потокосцепления ротора (рис. 29.) ψ_{2d} с ПИ – регулятором;
- преобразователей координат управляющих напряжений;

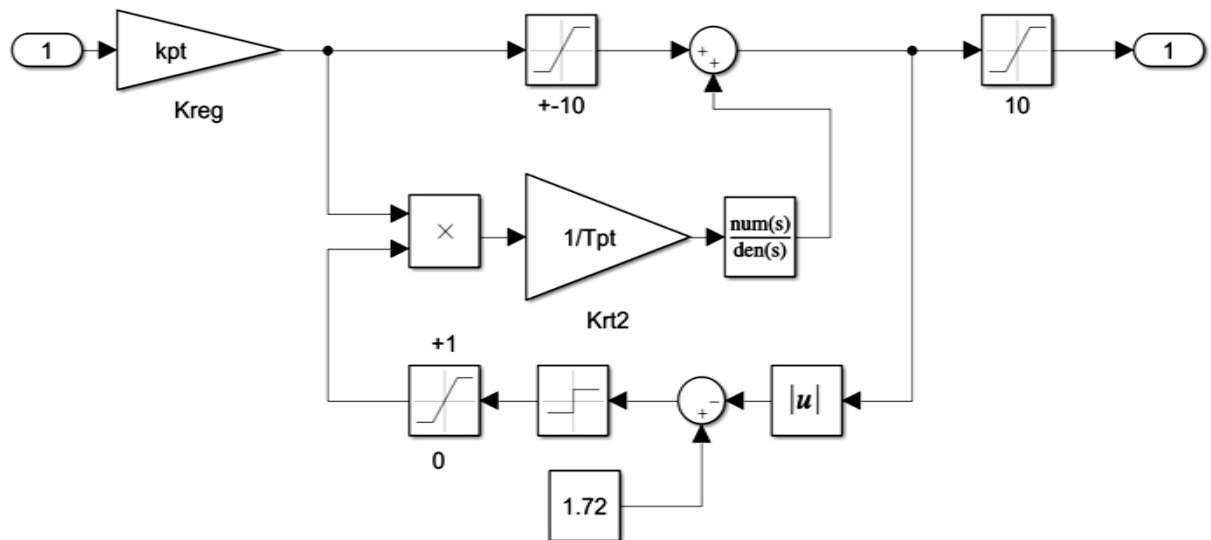


Рис. 27. Имитационная модель контура регулирования тока I_{ld} с ПИ – регулятором

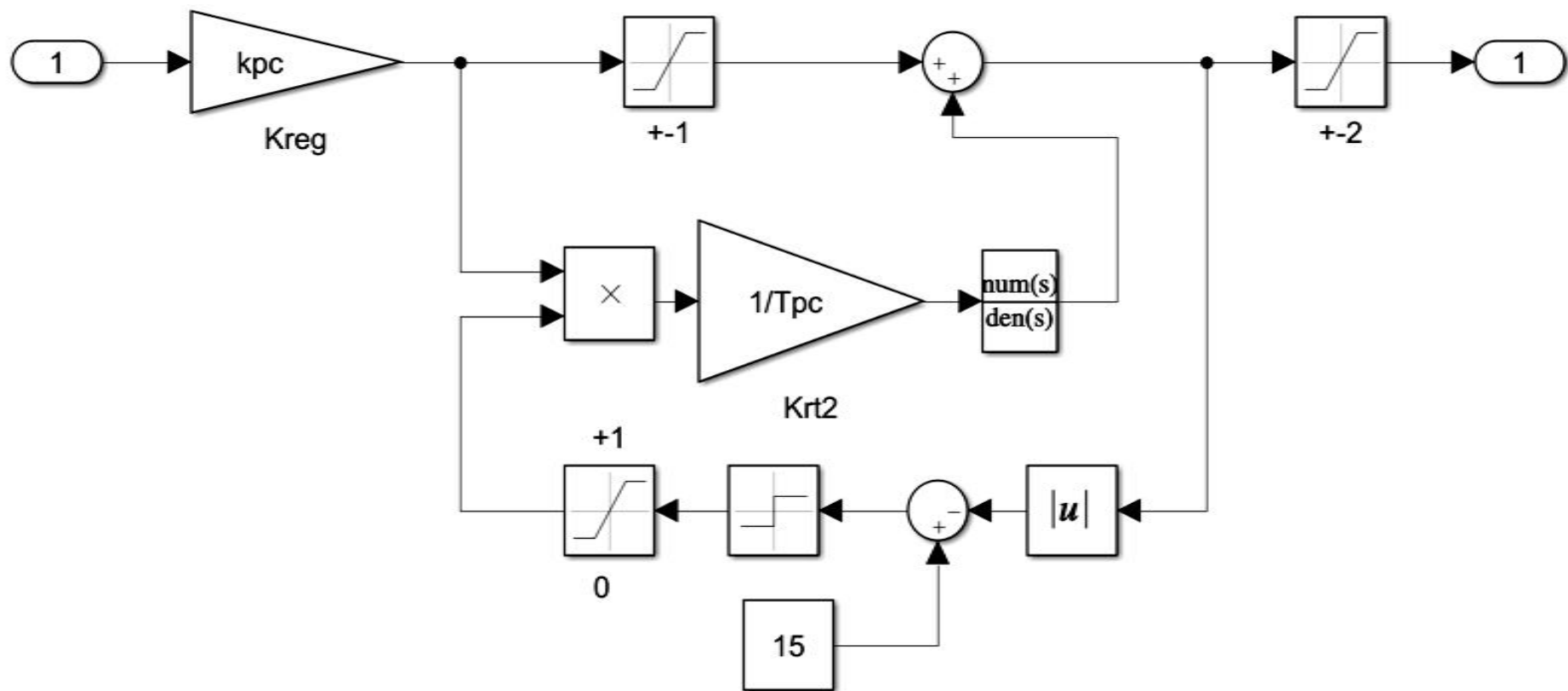


Рис. 28. Имитационная модель контура регулирования скорости двигателя ω_{δ} с ПИ – регулятором

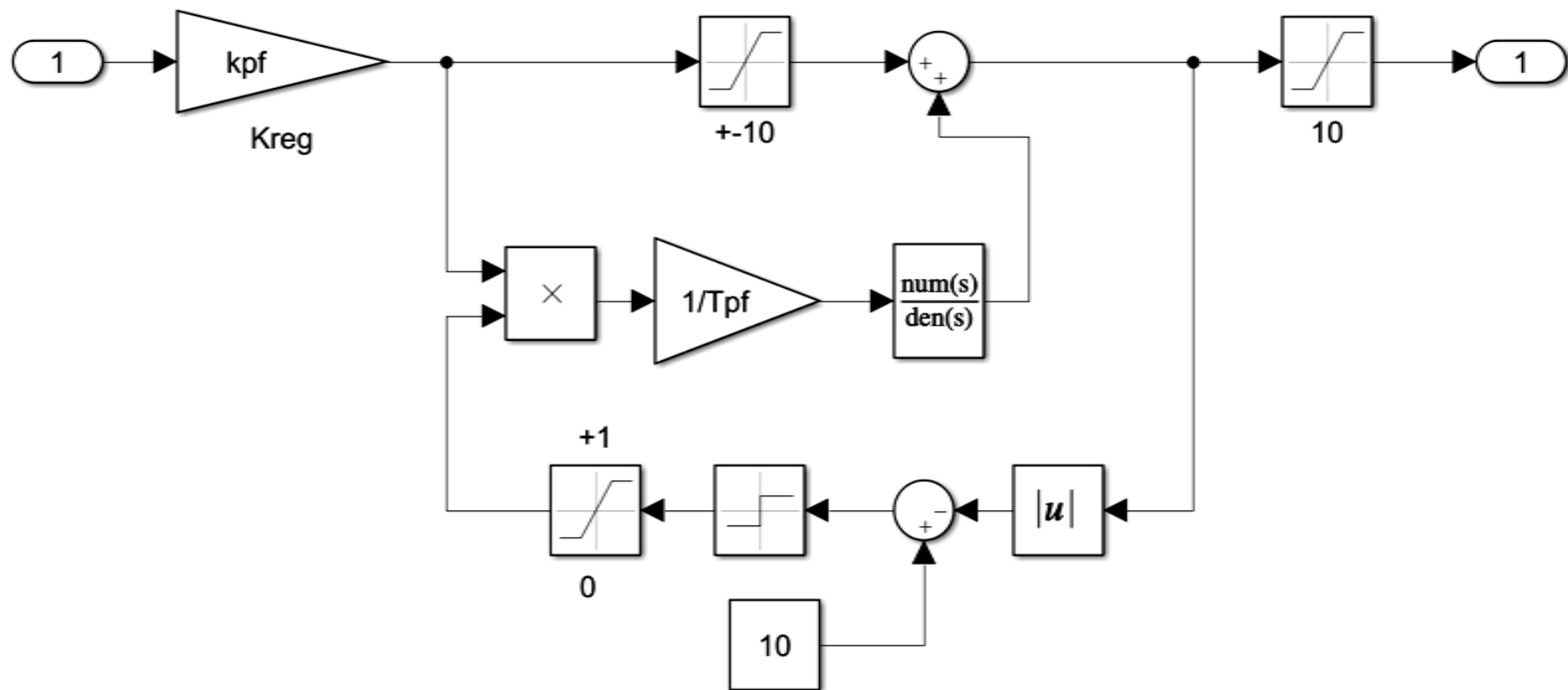


Рис. 29. Имитационная модель контура регулирования потокосцепления ротора ψ_{2d} с ПИ – регулятором

4.2.2 Моделирование пуска асинхронного электродвигателя

В программной среде MATLAB SIMULINK была собрана схема пуска асинхронного двигателя, был снят графики переходных процессов пуска на холостом ходу и под нагрузкой.

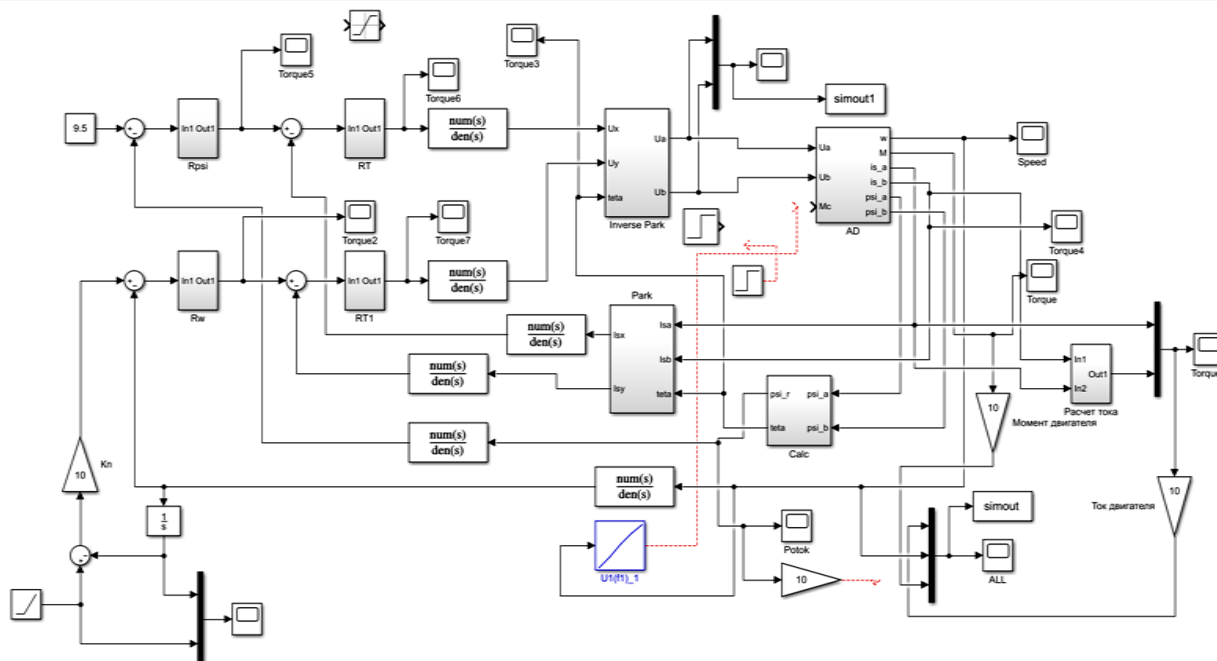


Рис. 30. Имитационная модель пуска АД на холостом ходу

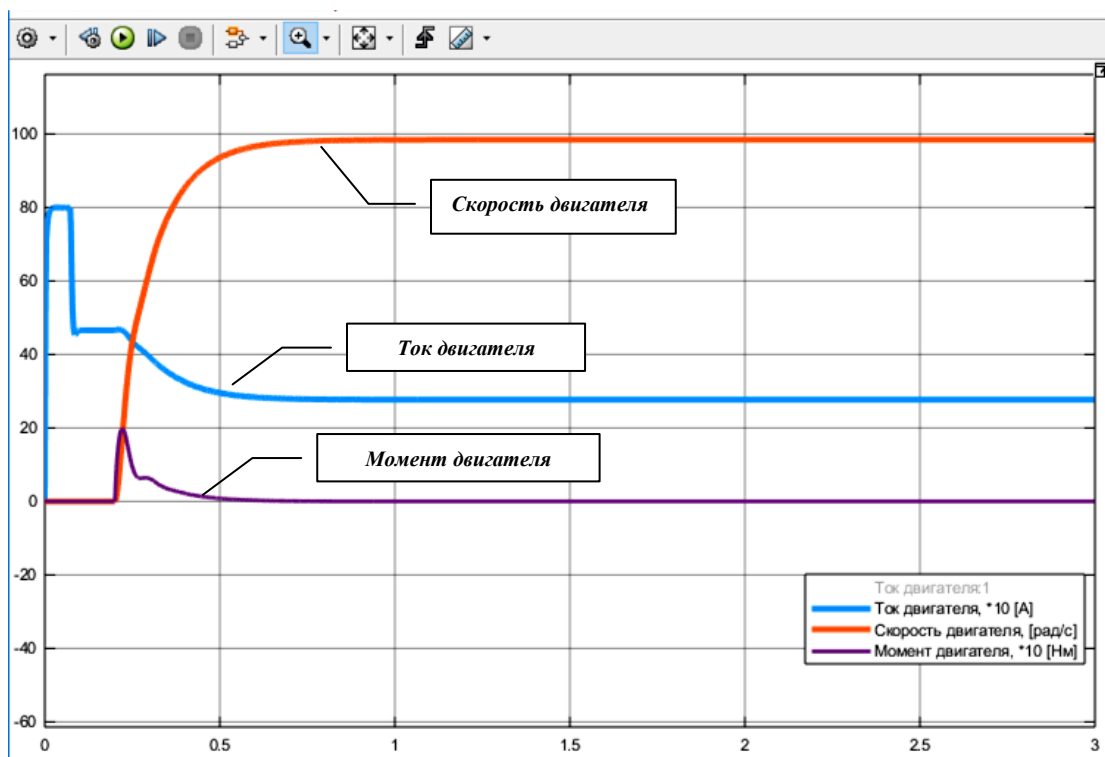


Рис. 31. Графики переходных процессов АД на холостом ходу

В осциллограмме переходных процессов холостого хода АД на рис. 31. графики тока и момента двигателя были увеличены в 10 раз.

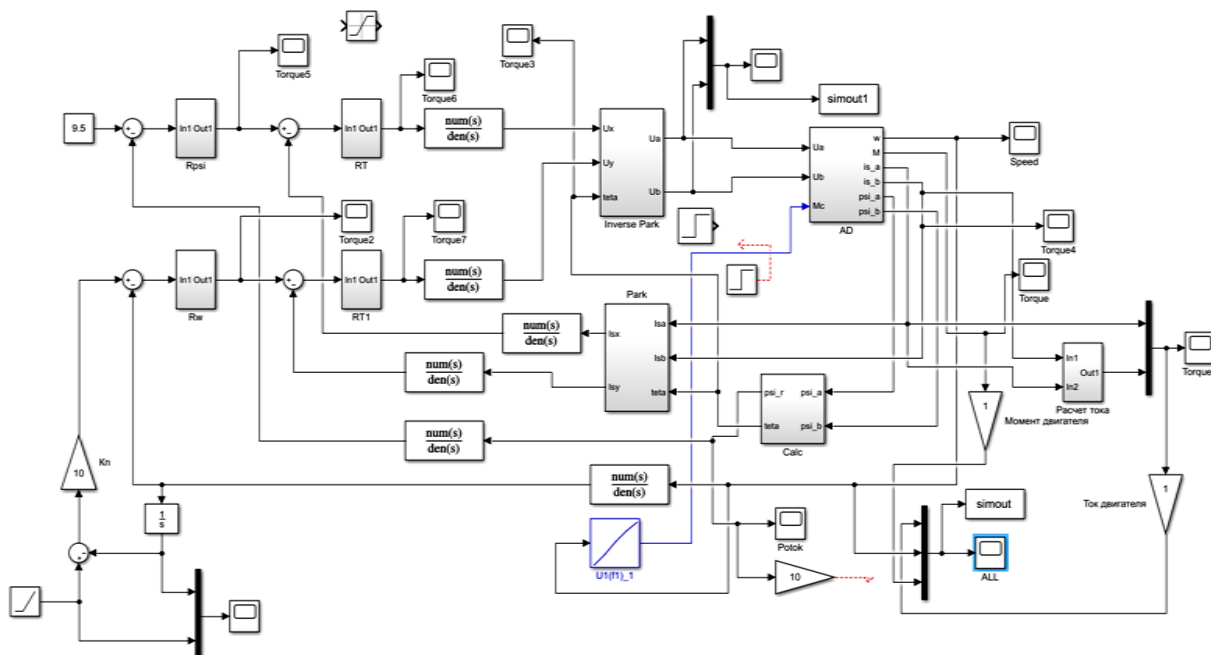


Рис. 32. Имитационная модель пуска АД под нагрузкой

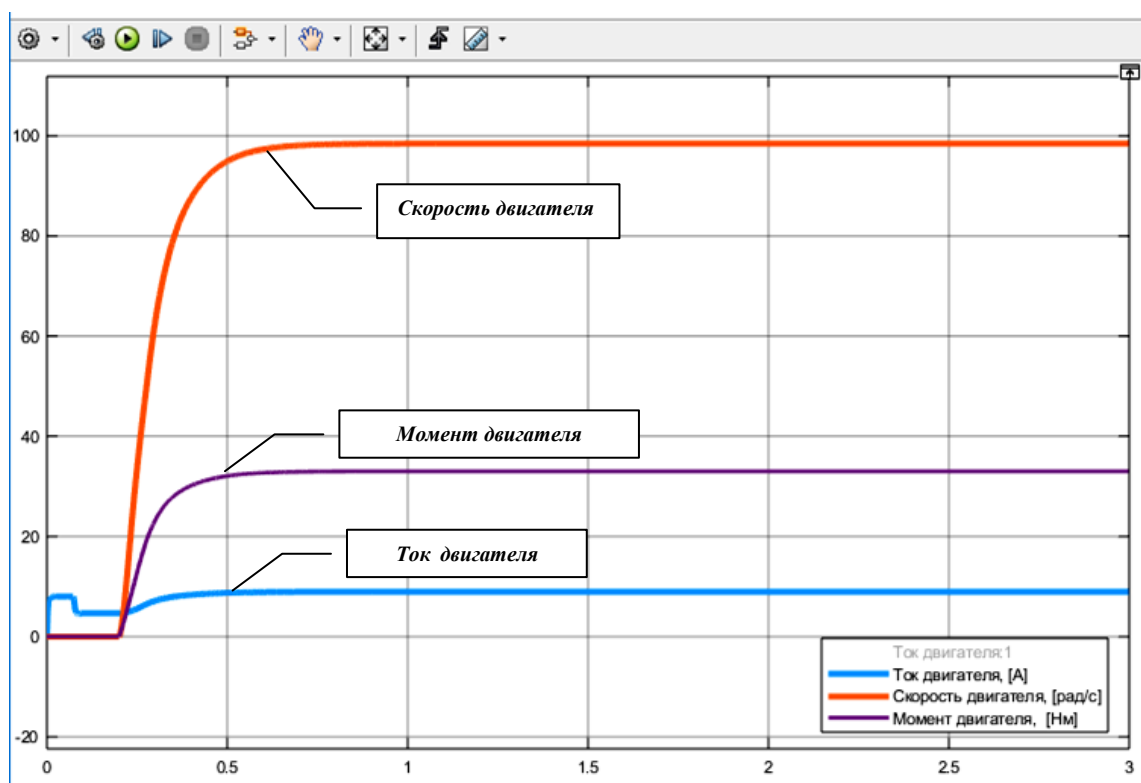


Рис. 33. Графики переходных процессов АД под нагрузкой

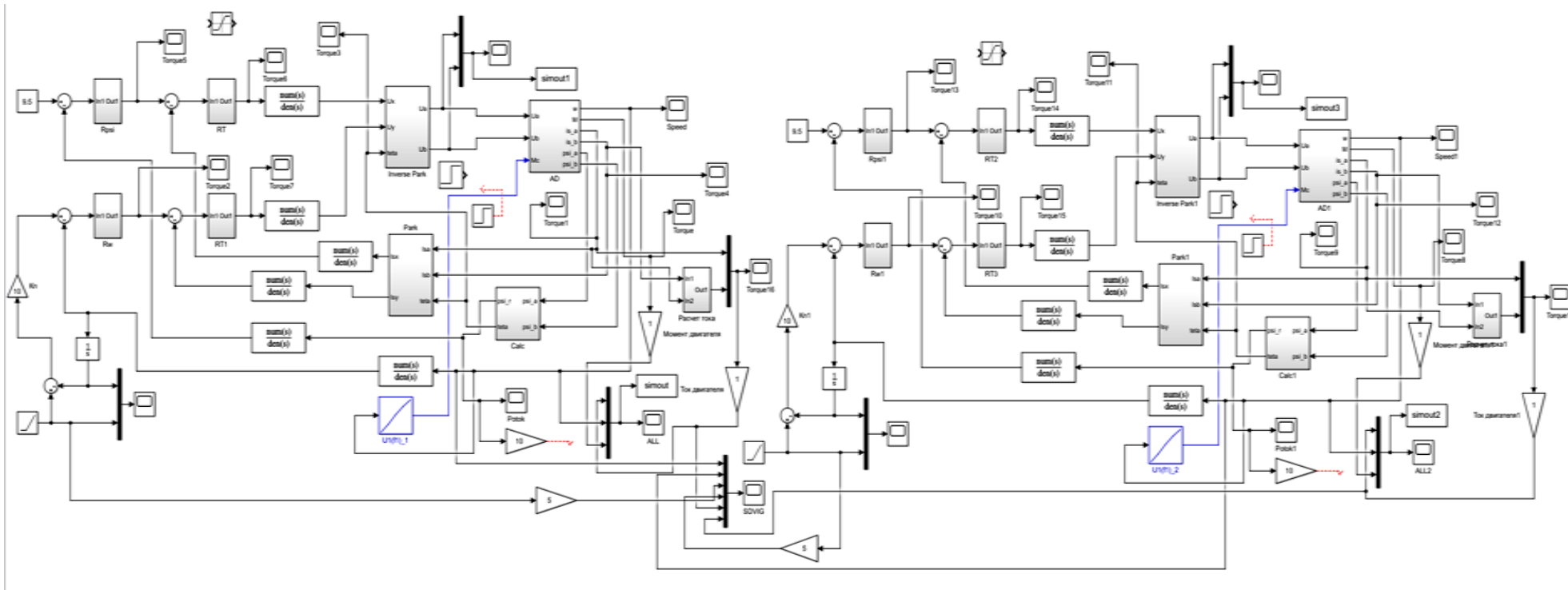


Рис. 34. Имитационная модель работы двух двигателей вибропитателя под нагрузкой в разомкнутом виде систем управления

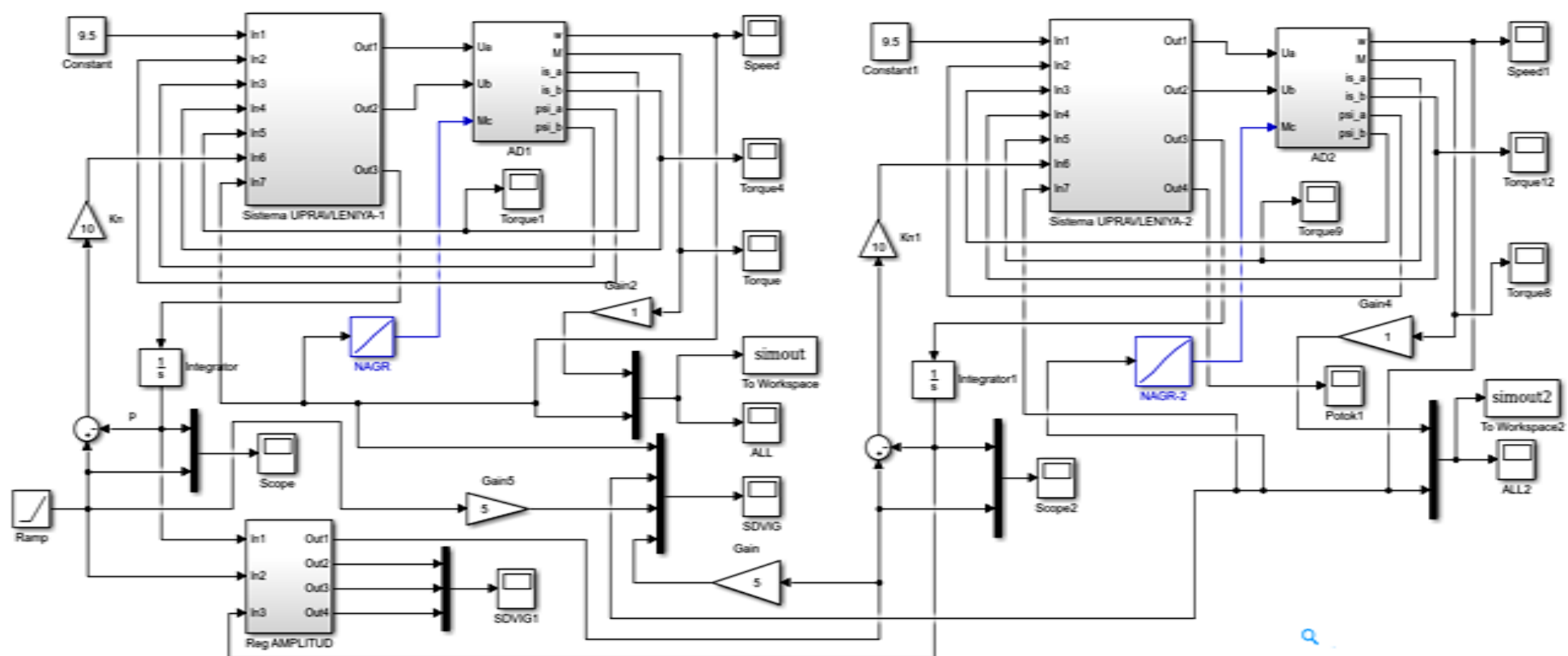


Рис. 35. Имитационная модель работы двух двигателей вибродвигателя под нагрузкой в компонованном виде

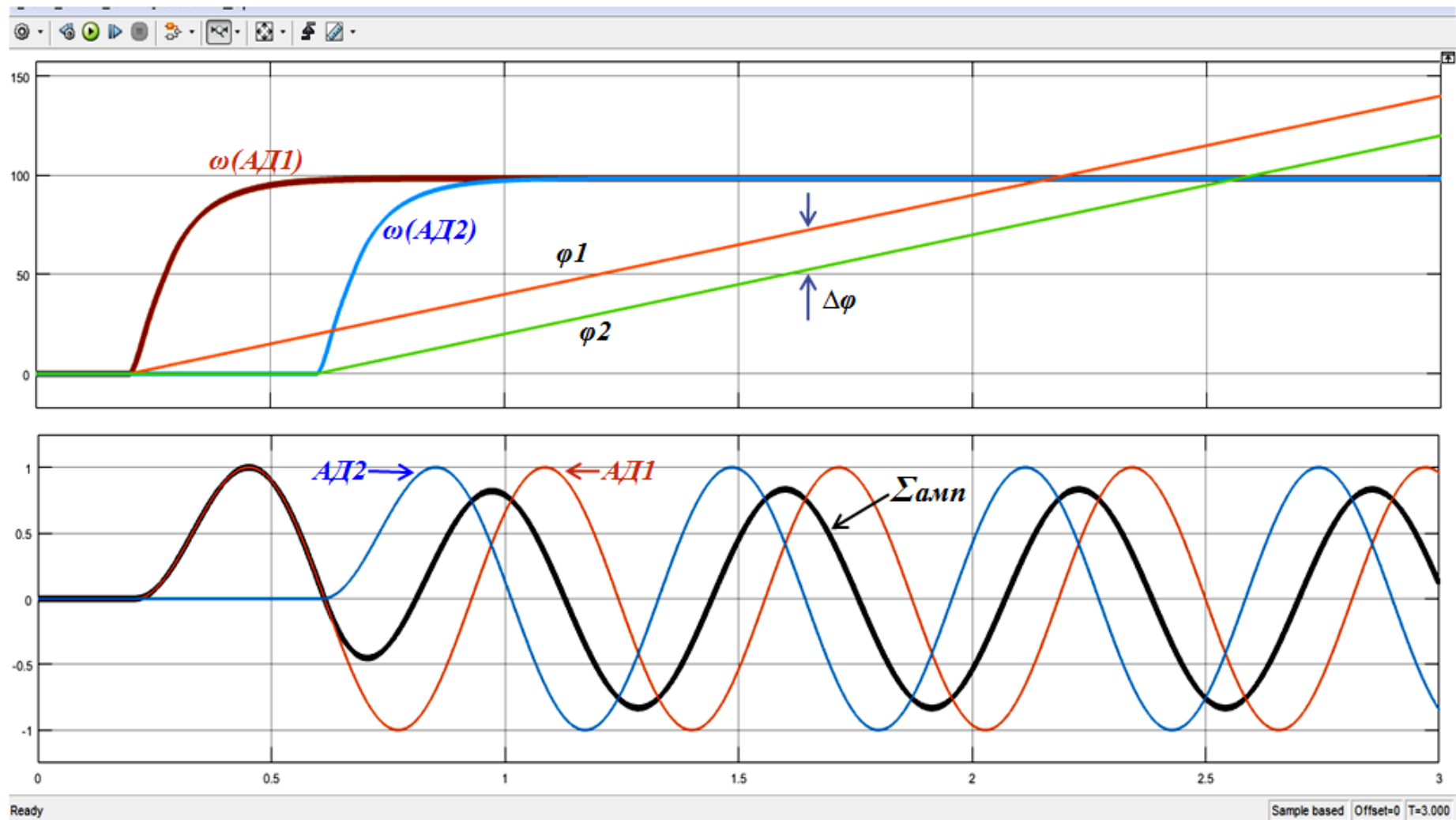


Рис. 36. Осциллограммы переходных процессов и амплитуды колебания при работе двух двигателей с разными углами поворота вала ротора

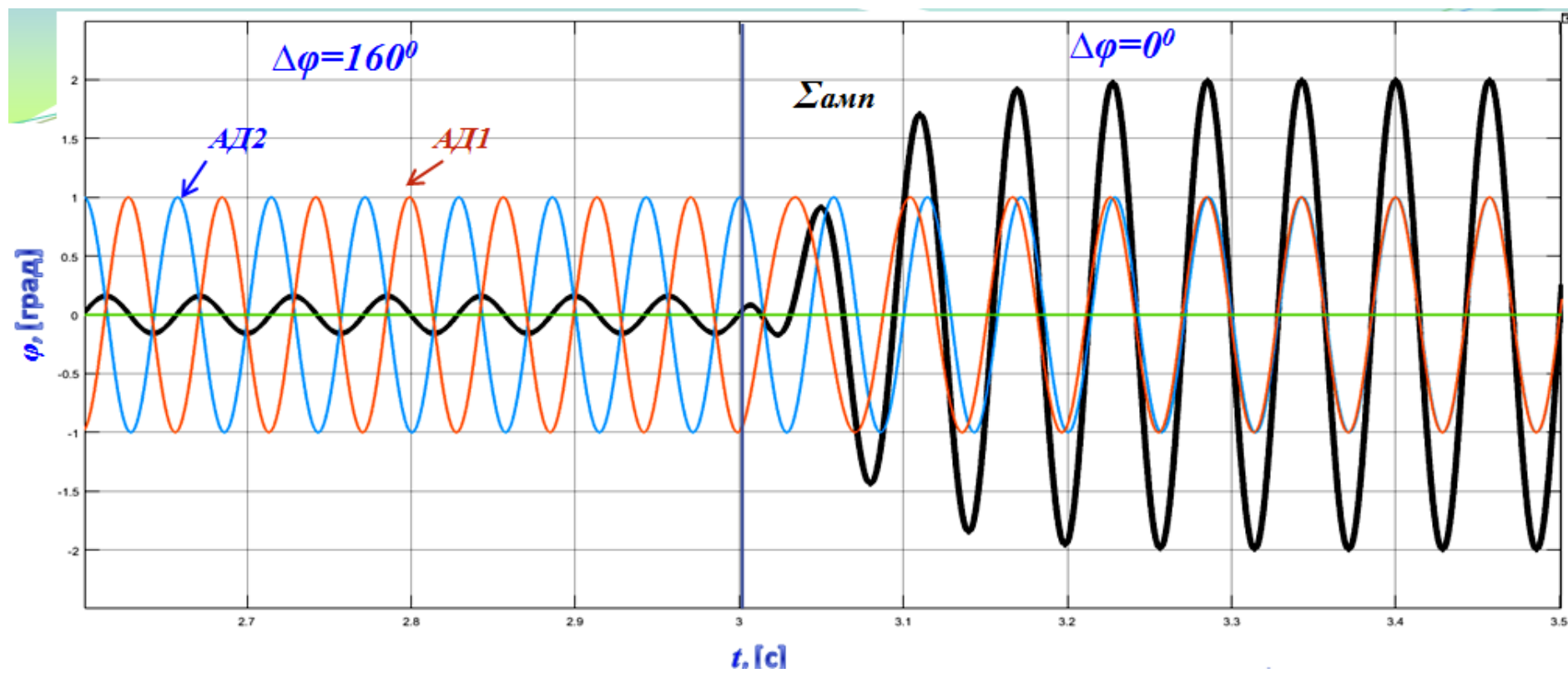


Рис. 37. Изменение суммарной амплитуды в зависимости от угла поворота вала ротора

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Рахматов Бекзоджон Алишерович

Институт	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p style="text-align: center;"><i>Объектом исследования является виброэлектропитатель металлургического комбината.</i></p> <p>Объект исследования применяется для транспортировки горной массы в гидрометаллургических заводах, а именно в Навоийском горно-металлургическом комбинате.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Вредные факторы возникающее при работе электрооборудования:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность воздуха рабочей зоны, рудная кремнийсодержащая пыль. - повышенный уровень шума на рабочем месте. - повышенный уровень вибрации. - повышенная влажность воздуха рабочей зоны. <p style="text-align: center;"><i>Опасные факторы возникающее при работе электрооборудования:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Механические опасности возникают из-за движущихся машин и механизмов производственного оборудования.
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Возможные ЧС: - Пожар.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Рахматов Бекзоджон Алишерович		

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В дипломном проекте проектируется модернизация виброэлектропитателя металлургического комбината.

В Навоийском горно-металлургическом комбинате, в гидрометаллургическом заводе №2 для подачи руды из бункера в реверсивный конвейер установлен виброэлектропитатель ВЭП. Основной задачей которого является с помощью механических колебаний создать вибрацию механизма и равномерно высыпать руду в конвейер для дальнейшего измельчения в мельницах. Коммутацию этого вибропитателя производит машинист мельниц данного мельничного блока совместно с слесарями-ремонтниками, которые заранее устанавливают состояния дебалансных грузов в зависимости от производительности мельницы.

Так как рассматриваемый объект исследования изначально имеет постоянную скорость вращения привода, производительность его работы регулируется изменением состояния дебалансных грузов на валу электродвигателя непосредственным участием обслуживающего персонала с принудительной остановкой оборудования. Для усовершенствования процесса работы вибропитателя и для удобства обслуживания данного оборудования, в дипломном проекте будет рассмотрена модернизация вибропитателя, улучшения его схемы управления. Для того чтобы вибрацию можно было регулировать и в процессе работы не останавливая вибропитатель без участия обслуживающего персонала, в схему управления приводом добавляем преобразователь частоты для регулирования скорости вращения двигателя. Добавляя частотный преобразователь можно добиться плавного разгона и торможения двигателя, регулирования скорости вращения при работе, снизить пусковые токи двигателя и соответственно увеличить сроки службы двигателя.

В данном разделе мною производится оценка и анализ опасных и вредных факторов, воздействующих на персонал, обслуживающий электрооборудование проектируемого объекта (цех измельчения руды), и меры по предотвращению и уменьшению влияния этих факторов.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В соответствии с СанПиН РУз N0141-03 в мельничном блоке цеха измельчения вредными факторами является физическое воздействие установленного оборудования на человека.

К физическим факторам воздействия установленного оборудования цеха измельчения на человека относятся:

- повышенная запыленность воздуха рабочей зоны (рудная кремнийсодержащая (10-70%) пыль, ПДК - 2,0 мг/м³);
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенная влажность воздуха;

РУДНАЯ ПЫЛЬ

Рудная пыль выделяется при транспортировке, дроблении и измельчении руды, подвергающейся на ГМЗ-2 технологической обработке. Характер пылевой патологии определяет технический состав пыли. Наиболее опасной для здоровья работающих химической составляющей рудной пыли является свободная (находящаяся во взвешенном состоянии двуокись (диоксид) кремния). В рудной пыли на ГМЗ-2 содержится от 10% до 70% свободной двуокиси кремния. Длительное вдыхание воздуха, загрязненного такой пылью, может привести к профессиональному заболеванию органов дыхания - силикозу. При силикозе тяжелые

склеротические изменения в органах дыхания могут сопровождаться значительными нарушениями в нервной, сердечнососудистой, пищеварительной и лимфатической системах человеческого организма.

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) пыли в воздухе, содержание которой при работе длительностью не более 8 часов в день в течение всего трудового дня не приводят к заболеваниям или отклонениям в состоянии здоровья работающих, при содержании диоксида кремния в виде аэрозоля от 10% до 70% составляет 2 мг/м^3 [7,8].

Основным средством защиты органов дыхания работающих на ГМЗ-2 от рудной пыли являются респираторы противопылевые.

Применение соответствующих респираторов надежно защищает органы дыхания, работающих при работах легкой и средней тяжести. Респираторы ШБ-1 «Лепесток» не рекомендуется использовать при температуре воздуха выше $+28^\circ$ и ниже 0°C , при возможности прямого попадания на фильтрующую поверхность капель и брызг органических растворителей. В цехах, где основной производственной вредностью, дающей право работающим на дополнительные льготы по условиям труда, является рудная пыль, ношение респираторов является обязательным для всех работающих в этих условиях в течение всего рабочего времени.

Так же для снижения запыленности воздуха в цехе в местах загрузки горной массы, течках перепада конвейеров и мельниц принимается гидроорошения.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ

Источником шума являются колебания твердых, газообразных или жидких сред. При работе вибропитателя возникает шум электромагнитного происхождения, возникающий вследствие колебаний электрических устройств (ротора, статора) под действием переменных магнитных полей, шум механического происхождения, возникающий при вибрации поверхностей оборудования трением горной массы на грузонесущий орган вибропитателя. Шум разной интенсивности возникает

при загрузки рудой производственных бункеров цеха измельчения, при загрузки шаров на барабанные мельницы. А также сам процесс измельчение руды в мельницах является очень шумным.

Воздействие шума на организм может проявляться в виде специфического поражения органа слуха, нарушении ряда других органов и систем организма, снижения производительности труда, повышения уровня травматизма.

Согласно [7] шум по максимальному превышению ДУ звукового давления в любой октавной полосе в вредных, тяжелых условиях труда до 30 дБ.

Основными мероприятиями по защите от шума являются устранение причины шума или существенное его ослабление в самом источнике образования. Если шум возникает из-за механических неисправностей оборудования (например: выход из строя подшипников электродвигателей, недостаточная смазка редукторов конвейера и коренных подшипников мельницы) необходимо принять меры по устранению этих неисправностей, путем своевременным и качественным ремонтом оборудования, грамотным составлением план-графиков капитального ремонта и планово-предупредительных ремонтов. Если источник шума не может быть ликвидирован, необходимо применять средства индивидуальной защиты – противошумы в виде берушей, наушников и шлемов.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВИБРАЦИЯ.

Низкочастотная общая вибрация вызывает длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, смещение органов в брюшной полости, возникновение и прогрессирование дегенеративных изменений позвоночника.

Нормы локальной вибрации по максимальному превышению ДУ в любой октавной полосе по виброскорости в вредных, тяжелых условиях труда до 9 дБ. [7,9]

Местная вибрация может оказывать благоприятное воздействие на организм, но может стать причиной заболеваний, таких как нейрососудистые расстройства рук, снижение всех видов кожной чувствительности, слабость в кистях рук.

Защита от вибраций:

- Ограничение контакта работника с вибрацией.

ПОВЫШЕННАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

При повышенном влажности воздуха человек может заметить повышение температуры тела, слабость, боль в голове, учащение пульса и дыхания и происходит отдача тепла из организма посредством испарения (пот). Если при низкой температуре влажность повышена, человек наоборот будет испытывать переохлаждение. Значительное повышение относительной влажности воздуха также может привести к неблагоприятным реакциям нервной системы.

В кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники, а также в других помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22-24°C при относительной влажности 60-40% [10].

Оптимальная норма относительной влажности воздуха в производственных помещениях при тяжелых категориях работ составляет 40-60 %. Допустимая норма относительной влажности воздуха в производственных помещениях при тяжелых категориях работ в холодный период года не более 75%, в теплый период года не более 50% (при 28°C) [10].

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины микроклимата не представляется возможным установить из-за технологических требований к производственному

процессу, технологической недостижимости их обеспечения или экономически обоснованной нецелесообразности, должны быть предусмотрены мероприятия по защите работающих от возможного перегрева и охлаждения: системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, помещения для отдыха и обогрева, спецодежда для защиты от повышенной или пониженной температуры, средства индивидуальной защиты, регламентация времени работы и отдыха и др.

В цехе измельчения для защиты от повышенной влажности воздуха предусмотрен общая и местная вентиляция. Общая вентиляция по цеху осуществляется установленными большими вентиляционными камерами, которые обработанный воздух гоняют в цех. А так же в каждой расскомандировке, рабочем месте и в пультах управления мельничным блоком подведено местная вентиляция.

5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

В соответствии с СанПиН РУз №0141-03 в мельничном блоке цеха измельчения опасными факторами является физическое воздействие установленного оборудования на человека.

К физическим факторам воздействия установленного оборудования цеха измельчения на человека относятся:

- движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

При эксплуатации мельничного оборудования в цехе измельчения, к которым относится и проектируемый виброэлектропитатель, могут возникнуть опасности из-за огромного количество движущихся машин и механизмов, вращающихся частей производственного оборудования.

Сам процесс ремонта и наладки дебалансных грузов привода вибропитателя, по сути является непосредственным прикосновением работника к вращающимся частям оборудования. По этому при ремонтах и наладки привода вибропитателя строго выполнять организационно-технические мероприятия, к которым относится:

- оформление работы нарядом – допуском, в котором указывается меры по безопасному выполнению данной работы;
- произвести необходимые отключения и принять меры препятствующие к подаче напряжения к рабочему месту в следствии ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;
- на ключах дистанционного управления вывесить плакаты «Не включать работают люди»
- Проверить отсутствия напряжения и наложить заземления;
- оградить рабочее место.

Работник работающий на мельничном блоке находится в опасной зоне из-за наличия вращающихся барабанных мельниц, весовых и реверсивных конвейеров, классификаторов спирали, вибропитателей и насосов, а также по длине цеха установлены грузоподъемные мостовые краны. Для уменьшения риска устанавливается по периметру ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, щиты, барьеры) на все вращающиеся и движущиеся оборудования. На конвейерах установлены аварийные тросы и концевые выключатели в случае аварии. Все работники обеспечены спец одеждой и спецобувью, для защиты головы от падения инородных тел всем строго ходить в защитных касках.

Так же для уменьшения риска нахождения работника в опасной зоне на всех вращающиеся оборудования установлены предупредительные звуковые и световые сигналы. Таким образом можно обеспечить недоступности опасной зоны

К опасным факторам можно отнести наличие большого количества аппаратуры, использующей электрический ток напряжением от 42 В до 380 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения рабочее место с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием следующих условий: возможности одновременного прикосновения человека к соединенным с землей металлическим частям зданий, технологических аппаратов, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- прикосновение к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам электроприборов, рубильников, предохранителей, находящихся под напряжением;
- прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением;
- несогласованные и ошибочные действия персонала (подача напряжения на установку, где работают люди; оставление установки под напряжением без надзора; допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.).

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

5.2 Экологическая безопасность

Привод виброэлектропитателя состоит из асинхронного электродвигателя и дебалансных грузов на валу этого двигателя. В их состав входит электротехническая сталь (сердечник статора и ротора), чугун (корпус электродвигателя) и медь (обмотки статора).

После длительной эксплуатации вибропитателя не подлежащие ремонту или дальнейшей эксплуатации требуют комплексных методов утилизации, так как их компоненты являются производственными отходами и вредно влияют на литосферу.

В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части подвергаются специальной переработке.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В технологическом процессе измельчения много движущихся и вращающихся машин. Применение технической воды для технологии, гидроуборок мельничных блоков, гидроорошения в местах загрузки горной массы и вибрация создаваемое различным мельничным оборудованием приводит к нарушению изоляции токоведущих кабелей и проводов которые находятся под напряжением. Силовая часть проектируемого вибропитателя работает на напряжение 380 В, а цепь его управление на 220 В. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Для того чтобы предотвратить пожар на производстве необходимо провести:

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

При возгорании и пожара на мельничном блоке машинист мельниц первым делом должен сообщить оператору цеха о месте пожара и вызвать пожарных. Оператор цеха будет выполнять дальнейшие организационные работы согласно инструкции. Машинист мельниц приступит к тушению пожара с имеющимся первичными средствами пожаротушения. Каждый мельничный блок оснащен пожарным постом, где имеется первичные средства пожаротушения. К ним относятся углекислотные огнетушители ОУ-2, или порошковые типа ОП-5, песок, войлок, лопата и ведро. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей с опасной зоны.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения работников Государственного Предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат» регулируются законодательством о труде Республики Узбекистан, коллективным договором НГМК, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

Согласно коллективному договору и Правилам внутреннего трудового распорядка рабочим считается время, в течение которого работник в соответствии с распорядком или графиком работы должен выполнять трудовые обязанности.

Нормальная продолжительность рабочего времени для работников комбината не может превышать 40 часов в неделю. [11]

Основной рабочей неделей для работников комбината является – пятидневная неделя.

Режим рабочего времени работников комбината, работающих в одну смену, устанавливается:

При 5-ти дневной рабочей неделе:

- начало работы — 8.00;
- перерыв — 12.00 — 13.00;
- окончание работы — 17.00.

Работникам, которым по условиям работы невозможно предоставить время обеденного перерыва, устанавливается время для приема пищи в рабочее время. Перечень таких работ, время начала и окончания и место приема пищи определяются графиком сменности, утверждаемым работодателем по согласованию с профсоюзным комитетом (ст.127 ТК РУз).

Всем работникам, в том числе и работающим по совместительству, предоставляется ежегодный трудовой отпуск для отдыха и восстановления работоспособности с сохранением места работы и среднего заработка (ст. 133 ТК РУз). Ежегодный трудовой отпуск предоставляется работникам не менее 15 рабочих дней.

Работникам за работу в неблагоприятных условиях труда в подразделениях НГМК по перечню выдается лечебно-профилактическое питания (ЛПП) (Ст.217 ТК Республики Узбекистан).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Рахматов Бекзоджон Алишерович

Институт	Инженерная школа энергетики	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Экономическая концепция проекта
2. Стоимость оборудования
3. Затраты на реализацию технического проекта

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Календарный план модернизации виброэлектропитателя;
2. Бюджет проекта;
3. Экономическая эффективность реализации проекта;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. График выполнения работ исполнителями ТП (диаграмма Ганта)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Попова С.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Рахматов Бекзоджон Алишерович		

6.1 Экономическая концепция проекта

В дипломном проекте проектируется модернизация виброэлектропитателя металлургического комбината.

В Навоийском горно-металлургическом комбинате, в гидрометаллургическом заводе №2 для подачи руды из бункера в реверсивный конвейер установлен виброэлектропитатель ВЭП. Основной задачей которого является с помощью механических колебаний создать вибрацию механизма и равномерно высыпать руду в конвейер для дальнейшего измельчения в мельницах. Коммутацию этого вибропитателя производит машинист мельниц данного мельничного блока совместно с слесарями-ремонтниками, которые заранее устанавливают состояния дебалансных грузов в зависимости от производительности мельницы.

Так как рассматриваемый объект исследования изначально имеет постоянный скорость вращения привода, производительность его работы регулируется изменением состояния дебалансных грузов на валу электродвигателя непосредственным участием обслуживающего персонала с принудительной остановкой оборудования. Для усовершенствования процесса работы вибропитателя и для удобства обслуживания данного оборудования, в дипломном проекте будет рассмотрено модернизация вибропитателя, улучшения его схемы управления. Для того чтобы вибрацию можно было регулировать и в процессе работы не останавливая вибропитатель без участия обслуживающего персонала, в схему управления приводом добавляем преобразователь частоты для регулирования скорости вращения двигателя, задействуем цепь выходных сигналов шумомера мельницы и мегаваттметра мельницы. Модернизируя виброэлектропитатель можно добиться плавному разгону и торможению двигателя, регулированию скорости вращения при работе, снижению пусковых токов двигателя и соответственно увеличению сроков службы двигателя. Так же модернизируя ВЭП ожидается снижение затрат на энергопотребления, рациональное использования рабочее время работников, эффективное использование оборудование, то есть уменьшение время простоя оборудования на переналадку, и синхронизация мельничного оборудования в технологическом процессе.

Такие вибропитатели применяются в разных металлургических предприятиях где требуется равномерное транспортирование горной массы, для высыпки руды из бункеров на конвейер в различных производственных процессах.

6.2 Календарный план модернизации виброэлектропитателя

Для удобства построения план-графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого используется следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{360}{360 - 104 - 11} = 1,47, \quad (6)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Для первого этапа, то есть для расчета проекта работы потребуется 14 рабочих дней. При этом $T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 14 \cdot 1,47 = 21$


Для второго этапа, то есть на закупку оборудования для реализации модернизации потребуется 5 рабочих дней. При этом $T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 5 \cdot 1,47 = 7$


Для третьего этапа, то есть на монтажные работы потребуется 2 рабочих дней. При этом $T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,47 = 3$


Для четвертого этапа, то есть на наладочные работы потребуется 1 рабочий день. При этом $T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 1 \cdot 1,47 = 2$


Таблица 10. Календарный план-график модернизации виброэлектропитателя

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кв} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ							
				Апрель				Май			
				1.04-7.04	8.04-15.04	16.04-23.04	24.04-30.04	1.05-7.05	8.05-15.05	16.05-23.05	24.05-31.05
1	Проектные работы	Инженер (дипломник)	21								
2	Закупка оборудования для реализация модернизации	Инженер (дипломник)	7								
3	Монтажные работы	Слесарь КИП, электромонтер	3								
4	Наладка оборудования	Слесарь КИП, электромонтер, слесарь-ремонтник	2								

 - инженер

 - слесарь КИП

 - электромонтер

 - слесарь-ремонтник

6.3 Бюджет проекта

Стоимость проектных работ составляет 10% от стоимости оборудования. Для этого необходимо составить список оборудования которое нужно приобрести и рассчитать стоимость с учетом доставки.

Стоимость оборудования:

Для модернизации виброэлектропитателя в электрическую схему управления дополнительно устанавливается преобразователь частоты для регулирования скорости вращения электродвигателя и шумомер для измерения уровни шума мельницы. Обработывая сигнал от уровня шума преобразователь частоты регулирует скорость вращения электродвигателя и соответственно производительность вибропитателя.

На проектируемом виброэлектропитателе установлен два электродвигателя КЕЕ-45-6В мощностью по 3 кВт каждый. Для регулирования их скорости необходимо выбрать преобразователь частоты на 7,5 кВт напряжением питающей сети 380 В и выше. В таблицах 11 и 12 приведен список оборудования для модернизации и их цены с учетом доставки.

Таблица 11. Основные оборудования для модернизации

№	Название оборудования	Кол-во шт.	Цена, рубль	Транспор- тировка	Сумма, рубль
1	Преобразователь частоты ATV312HU75N4 Schneider Electric 7,5 кВт 500 В	1	33000	2% от стоимости	33660
2	Шумомер цифровой AR214	1	3880	2% от стоимости	3958
3	Итого				37618

Дополнительные материалы на монтирование

Таблица12.

№	Название оборудования	Кол-во	Цена, рубль	Транспор- тировка	Сумма, рубль
1	Кабель ПВС 4х2,5	50 м	37 рублей за 1 м.	2% от стоимости	1887
3	Итого				1887

Стоимость работ по модернизации

Монтирование производится бригадой в 3 человека. В состав бригады входит 2 электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования 7-го разряда и 1 слесарь контрольно-измерительных приборов и автоматики 7-го разряда. Эти работники должны иметь группу по электробезопасности не ниже IV.

Длительность работ по монтажу и наладке оборудования для модернизации составляет 24 бригады/часа.

Среднечасовая тарифная ставка электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования 7-го разряда 120 руб/час.

Среднечасовая тарифная ставка слесаря по контрольно-измерительным приборам 7-го разряда 140 руб/час.

Стоимость 1-го бригады/часа составляет: $120 \cdot 2 + 140 = 380$ руб/час.

Затраты по оплате труда составляет: $380 \text{ руб} \cdot 24 \text{ час} = 9120$ рублей.

Отчисление во внебюджетные фонды 30,2 % от суммы оплаты труда:

$$9120 \cdot 30,2\% = 2754 \text{ рублей.}$$

Суммарные затраты на модернизацию составит сумму на закупку основного оборудования, дополнительные материалы на монтирование, оплата труда и отчисление во внебюджетные фонды:

$$37618 + 1887 + 9120 + 2754 = 51379 \text{ рублей}$$

Прочие расходы связанные с простоем оборудования составит 16% от суммарных затрат:

$$51379 \cdot 16\% = 8220 \text{ рублей}$$

Таблица 13. Стоимость модернизации

№	Статьи	Сумма, рубль	Примечание
1	Спец. оборудование	37618	
2	Дополнительные материалы	1887	
3	Зарплата работников	9120	
4	Отчисление во внебюджетные фонды	2754	
5	Прочие расходы	8220	
	Итого: 59600 рублей		

6.4 Экономическая эффективность реализации проекта

6.4.1. Расчет годовой суммы экономии на эксплуатационных издержках.

Установленный вибропитатель в цехе измельчения для поддержания технологического процесса должен равномерно высыпать 120-130 тонн/час руды из бункера в реверсивный конвейер. До модернизации этот показатель достигалось при максимальных скоростях двигателя вибропитателя, то есть при 940 об/мин. Амплитуда вибрации регулировалась изменением состояния дебалансных грузов на валу этого двигателя при отключенном вибропитателе.

После модернизации дебалансные грузы устанавливаются в положении максимальной вибрации, скорость вращения регулируется заданием на преобразователь частоты установленный в схеме управления приводом вибропитателя. Таким образом требуемый производительность вибропитателя достигается при скорости вращения двигателя 376-380 об/мин. Мощность двигателя при установлении преобразователя частоты имеет следующую зависимость от скорости вращения:

$$Q' = Q \cdot \left(\frac{n_1}{n} \right), [кВт]$$

где Q' - фактическая мощность при скорости вращения n_1 , [кВт];

n - номинальная скорость двигателя, [об/мин];

n_1 – скорость двигателя при задании от преобразователя частоты, [об/мин].

Расчет фактической мощности двигателя после модернизации:

$$Q' = 3 \cdot \left(\frac{376}{940} \right) = 1,2 \text{ кВт}$$

Полученный фактическая мощность для одного двигателя. Так как в вибропитателе установлен 2 двигателя по 3 кВт, полученный результат фактической мощности необходимо умножить на 2.

Таким образом при работе до модернизации вибропитатель за час работы потребляет 6 кВт, после модернизации 2,4 кВт. Экономия электроэнергии за час работы составляет 3,6 кВт.

Суммарное время работы одного вибропитателя за сутки составляет 12 часов. При эксплуатации вибропитателя в году предусмотрен 3сутки на текущий ремонт и 6 суток на капитальные ремонты оборудования. Исходя из этих данных определяем годовую время работы вибропитателя и экономия электроэнергии за год эксплуатации после модернизации.

$$T_{вэп} = 365 - 3(ТР) - 6(КР) = 356 \text{ суток}$$

$$T_{вэп} = 356 \text{ суток} \cdot 12 \text{ часов} = 4272 \text{ часа}$$

Время работы вибропитателя за год составит 4272 часа.

До модернизации расход электроэнергии за год:

$$W_{эл.эн} = 4272 \text{ часа} \cdot 6 \text{ кВт} = 25632 \text{ кВт}$$

После модернизации расход электроэнергии за год:

$$\dot{W}_{эл.эн} = 4272 \text{ часа} \cdot 2,4 \text{ кВт} = 10253 \text{ кВт}$$

Экономия электроэнергии за год составит :

$$\Delta W_{эл.эн} = W_{эл.эн} - \dot{W}_{эл.эн} = 25632 - 10253 = 15379 \text{ кВт}$$

Тариф на электроэнергию для юридических лиц в Томской области с 1-января 2018 года - 4,23 руб/кВт.

Сумма по экономии электроэнергии за год составит:

$$\mathcal{E}_{год} = C_{эл.эн} - \Delta W_{эл.эн} = 4,23 \cdot 15379 = 65053 \text{ руб} / \text{год}$$

После модернизации не требуется наладка состояния дебалансных грузов слесарями-ремонтниками, эти работы будут выполняться только при текущих и капитальных ремонтах. А соответственно не оплата слесарям-ремонтникам за наладку в каждую смену входит в экономию за счет модернизации.

Длительность работ по наладке дебалансных грузов вибропитателя до модернизации составляет 1 бригада/часа. В бригаде 2 слесаря-ремонтника 6-го разряда. По требованию технологического процесса эта бригада каждую смену отрегулировал вибрацию питателя. В году 356 смен.

Среднечасовая тарифная ставка слесаря-ремонтника 6-го разряда 90 руб/час.

Стоимость 1-го бригада/часа составляет: $90 \cdot 2 = 180$ руб/час.

Затраты по оплате труда слесарям-ремонтникам за наладку вибропитателя за год составляет: $180 \text{ руб} \cdot 1 \text{ час} \cdot 356 \text{ смен} = 64080$ рублей.

Таким образом, экономия за счет рациональное использование труда слесарей-ремонтников и уменьшение время простоя оборудования составляет 64080 рублей.

6.4.2. Формирование дополнительных затрат на обслуживание

После модернизации вибропитателя возникает затраты на КИП.

Затраты включают себя:

- на суточный обход (ежедневно 0,1 часа при тарифе 140 руб/час)
- дополнительные затраты на ремонт датчиков при текущем ремонте и капитальных ремонтах (по 2 часа на каждый ремонт)

$$Z_{\text{дон}} = 140 \cdot ((0,1 \cdot 356) + 2 \cdot (3 + 6)) = 140 \cdot (35,6 + 18) = 7504 \text{ руб / год}$$

6.4.3. Анализ полученных результатов

Анализируя выше проделанные расчеты можно установить:

- суммарные затраты на модернизацию составит 67104 рублей за год с учетом приобретение оборудования, монтажа, наладки, обслуживания и оплата рабочих;
- суммарная экономия после модернизации составит $65053 + 64080 = 129133$ рублей за год.

Таким образом, проектируемая модернизация вибропитателя оправдывает свои затраты и расходы. Применение такой модернизации

приносит предприятию хороший прибыль, облегчает обслуживание и эксплуатацию оборудования, уменьшает время простоя и перерывов в работе мельничного блока, синхронизирует технологический процесс.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была исследована модернизация вибропитателя металлургического комбината в целях улучшения его работы. Был произведен расчет мощности и выбор электродвигателя. Были рассчитаны параметры схемы замещения и построены естественные механические и электромеханические характеристики двигателя. Был выбран преобразователь частоты и закон управления.

Для определения характера механической нагрузки непосредственно на производстве был произведен эксперимент. Были сняты параметры при разных скоростях вращения и при разных положениях дебалансов. По результатам эксперимента был построен зависимости изменения тока и производительности от скорости вращения двигателя.

Для существенного расширения возможности по контролю за работой вибропитателем в производственном цикле был задействован различные датчики из технологической схемы автоматизации.

Так же была смоделирована в программной среде работа вибропитателя и были сняты осциллограммы переходных процессов. Был смоделирован работа вибропитателя с двумя двигателями при разных положениях угла поворота вала двигателей. Были исследованы амплитуды колебаний двигателей при таком режиме работы.

Разработка таких систем управления вибропитателем дает возможность:

- в широких пределах регулировать производительность вибропитателя в зависимости от сменного задания по технологию;
- автоматизировать технологический процесс, синхронизировать работу оборудования мельничного блока;
- уменьшать время простоя на наладочные работы и повышать коэффициент использования оборудования;

- так как в цехе измельчения 28 мельничных блоков и 88 шт. таких вибропитателей, использование преобразователей частоты в схеме управления приводит к большому экономии электроэнергии.

Электропривод полностью отвечает предъявляемым к нему технологическим и техническим требованиям; представляется перспективным применение асинхронных электроприводов с частотным управлением при решении задачи модернизации приводов виброэлектропитателей.

Conclusion

In this final qualifying work, the modernization of the vibratory feeder of the metallurgical plant was studied in order to improve its work. Power calculation and selection of the electric motor were made. The parameters of the equivalent circuit were calculated and the natural mechanical and Electromechanical characteristics of the engine were constructed. The frequency Converter and the control law were selected.

To determine the nature of the mechanical load directly in the production of an experiment. Were removed parameters at different speeds and at different positions disbalansov. According to the results of the experiment, the dependence of the current and performance changes on the engine speed was built.

For a significant expansion of the ability to control the operation of the vibrating feeder in the production cycle, various sensors from the technological scheme of automation were used.

Also, the operation of the vibration feeder was simulated in the software environment and the oscillograms of transients were removed. The operation of the vibration feeder with two engines at different positions of the rotation angle of the motor shaft was simulated. The amplitudes of the engine oscillations in this mode of operation were investigated.

The development of such control systems of the vibrating feeder makes it possible:

- within a wide range to adjust the performance of the vibrator depending on the replacement job technology;
- to automate the technological process, to synchronize the work of the equipment of the mill block;
- to reduce the idle time of commissioning and to improve the utilization of equipment;
- since the grinding shop has 28 mill blocks and 88 pieces of such vibratory feeders, the use of frequency converters in the control scheme leads to large energy savings.

The electric drive fully meets the technological and technical requirements; the use of asynchronous electric drives with frequency control is promising in solving the problem of modernization of drives of vibration electric power.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. А. Бауман, И. И. Быховский «Вибрационные машины и процессы в строительстве» - М: Высшая школа, 1977. - 253 с.
2. ngmk.uz – официальный сайт Государственного предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат»
3. А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Деменьтев, И. А. Чернышев «Электропривод переменного тока» Изд-во ТПУ 2011. - 213с.
4. Вибрации в технике. Справочник в 6 томах. Вибрационные процессы и машины. Том 4, - М: Машиностроения, 1981. – 510 с.
5. И. И. Быховский «Основы теории вибрационной техники» - М: Машиностроения, 1968. – 358 с.
6. Ю. С. Пухов «Рудничный транспорт» - М: Недра, 1991. – 255 с.
7. СанПиН РУз №0141-03. Гигиеническая классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.
8. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с изменением N 1). Межгосударственный стандарт.
9. СанПиН РУз № 0326-16. Санитарные нормы общей и локальной вибрации на рабочих местах.
10. СанПиН РУз № 0203-06. Санитарно-гигиенические нормы микроклимата производственных помещений.
11. Правила внутреннего трудового распорядка Государственного Предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат».
12. Трудовой кодекс Республики Узбекистан.
13. Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин «Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод» - Изд-во ТПУ, 2014. – 648 с.
14. Н. В. Тихонов «Транспортные машины горнорудных предприятий». – М.: Недра, 1985.-265 с.